Une tentative d'unification et de résolution des problèmes de modélisation et d'optimisation dans les systèmes hospitaliers . Application au nouvel hôpital Estaing

Sophie Rodier

N° d'ordre : D.U. 2049 Année 2010
EDSPIC : 488

Université Blaise Pascal – Clermont Ferrand II

Ecole Doctorale Sciences pour l'Ingénieur

THÈSE

Présentée par

Sophie Rodier

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR D'UNIVERSITÉ

Spécialité

INFORMATIQUE

UNE TENTATIVE D'UNIFICATION ET DE RESOLUTION DES PROBLEMES DE MODELISATION ET D'OPTIMISATION DANS LES SYSTEMES HOSPITALIERS. *APPLICATION AU NOUVEL HOPITAL ESTAING*

Soutenue publiquement le 15 juillet 2010 devant le jury :

M.	Alain QUILLIOT	Professeur	Président de jury
M.	Bernard ESPINASSE	Professeur	Rapporteur
M.	Bernard GRABOT	Professeur	Rapporteur
M.	Alain GUINET	Professeur	Rapporteur
M.	Bernard ALEKSY	Ingénieur Hospitalier	Examinateur
Mlle	Michelle CHABROL	Maître de Conférences	Co-encadrant
M.	Michel GOURGAND	Professeur	Directeur de thèse
Mme	Chantal SOULE-DUPUY	Professeur	Examinateur

A ma famille

A mes amis

« La véritable culture, celle qui est utile,
est toujours une synthèse entre le savoir accumulé et l'inlassable observation de la vie. »
Francesco Alberoni

« Les inventions qui ne sont pas connues ont toujours
plus de censeurs que d'approbateurs. »
Blaise Pascal

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde reconnaissance au Professeur Michel Gourgand, mon directeur de thèse qui, par sa patience, sa générosité et sa confiance m'a permis de repousser mes propres limites et a ainsi contribué à faire de cette thèse une formidable aventure humaine et professionnelle. J'associe tout naturellement à ces remerciements, Jeanne-Marie, son épouse, pour sa gentillesse et son soutien ainsi que Michelle Chabrol, ma co-encadrante pour ses conseils avisés, son partage d'expérience et tout ce qu'elle m'a apporté.

Pour la qualité de son encadrement au quotidien, pour son professionnalisme, et pour son amitié, je remercie vivement Bernard Aleksy, Ingénieur en Organisation au CHU de Clermont-Ferrand et Responsable de l'Atelier de Modélisation du Nouvel Hôpital d'Estaing (NHE).

Je remercie le Président de mon Jury, le Professeur Alain Quilliot, Directeur du LIMOS pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire et m'avoir fait l'honneur de me proposer d'y rester en tant que membre associé. J'adresse mes plus vifs remerciements aux Professeurs Bernard Espinasse, Bernard Grabot et Alain Guinet pour leurs remarques précieuses et pour avoir accepté de rapporter sur mon travail. Je remercie également le Professeur Chantal Soulé-Dupuy pour l'intérêt et le crédit qu'elle a apporté à mes travaux en acceptant de participer à mon jury de thèse.

Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans l'implication d'Olivier Pontiès, ancien Directeur de l'Hôtel-Dieu et du NHE qui est à l'origine, avec Bernard Aleksy et Michel Gourgand, du Projet de Modélisation. Je tiens à lui exprimer toute ma reconnaissance pour sa confiance qui m'a permis d'intégrer ce beau projet et qui me permet aujourd'hui de continuer à travailler avec les laboratoires de recherche, au sein de son équipe, à l'Assistance Publique – Hôpitaux de Marseille.

J'aimerais également exprimer tous mes remerciements à l'ensemble des personnels du CHU de Clermont-Ferrand qui m'ont accompagné pendant cette aventure. Je remercie les Professeurs Bazin, Gallot et Mage, ainsi que l'ensemble des chefs de services du Pôle Expérimental des Ressources Interventionnelles (PERI) avec qui j'ai pris beaucoup de plaisir à travailler. Je remercie également Agnès Barrier, Florence Delpirou, Marilyne Farge et l'ensemble des cadres supérieurs de santé du NHE qui ont fait preuve d'une patience infinie pour m'aider à comprendre leur formidable métier et dont le professionnalisme et le dévouement au quotidien ont forcé mon admiration. Je remercie enfin Claude Da Silva, Marie-Christine Leroux, Mélanie Chanteux, Nicolas Dirig et tous les collègues de la Direction du NHE pour leur amical soutien pendant ces quatre années, ainsi que les membres du projet de modélisation et plus particulièrement les étudiants que j'ai eu le plaisir et l'honneur d'encadrer.

J'adresse une amicale pensée à tous les membres de l'équipe MAD du LIMOS avec lesquels j'ai pris beaucoup de satisfaction à échanger ainsi qu'aux membres des communautés du GdR MACS (Modélisation, Analyse et Conduites des Systèmes dynamiques) et de GISEH (Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers).

Je remercie tous ceux et toutes celles qui ont marqué mon parcours scolaire et universitaire, qui ont été pour moi bien plus que de simples enseignants et qui m'ont donné l'envie d'apprendre et d'aller plus loin. Je pense en particulier à Martine Chabanat qui m'a fait aimer les mathématiques, à Danielle Girardet qui m'a fait comprendre l'économie, à Claudine et René Berthon, qui m'ont réconcilié avec l'anglais, à Pierre Desfougères qui m'a initiée aux bases de données, à Martine Baudet-Pommel et Annie Veyre avec qui j'ai eu beaucoup de plaisir à travailler à l'Université, au Docteur Anne Perreve qui a veillé très gentiment sur ma santé tout au long de mon cursus, à Nikolay Tchernev qui m'a permis de reprendre mes études … et à tous les autres qui sont dans mes pensées et qui ont, à leur façon, contribué à la réussite de mon parcours.

Je voudrais enfin exprimer ma plus profonde reconnaissance et toute mon affection à l'ensemble de mes proches. A ma famille et à mes amis qui ont contribué à faire de moi la personne que je suis aujourd'hui. A mes parents, mon frère et ma sœur, qui sont le ciment de mon existence et qui ont été d'un soutien sans faille pendant toutes ces années. A mon parrain, ma marraine et mes filleuls qui ont une place toute particulière dans mon cœur. A mes grands-parents, pour qui j'ai une profonde admiration et une grande tendresse. A mes oncles et mes tantes, mes cousins et mes cousines (les petits comme les grands)…qui sont chaque jour dans mes pensées.

A vous tous qui êtes dans mon cœur, je vous dédie ce mémoire.

Sommaire

Liste des figures, tableaux et algorithmes

Chapitre 1

Chapitre 2

Chapitre 3

Chapitre 4

Chapitre 5

Chapitre 6

Chapitre 7

Chapitre 8

Chapitre 9

Chapitre 10

Chapitre 11

Introduction Générale

Le travail présenté dans ce mémoire de thèse a été réalisé dans le cadre d'une convention de recherche entre le LIMOS et le CHU de Clermont-Ferrand qui a financé plusieurs thèses sur le projet de modélisation, de simulation et d'optimisation des flux du NHE (Nouvel Hôpital Estaing qui est opérationnel depuis mars 2010).

Le secteur hospitalier français fait cohabiter des établissements de différents statuts juridiques combinant des modes d'organisation et de gestion, de financement et de régulation, de participation aux missions de service public très différentes (CHU, hôpitaux locaux, cliniques privées…). Le domaine des systèmes hospitaliers regroupe lui-même de nombreux systèmes ayant des particularités bien distinctes. Parmi ces systèmes, on peut citer pour exemple : les unités de soins (ou unités d'hébergement), les services de prise en charge des urgences, le plateau médico-technique (chirurgie, obstétrique, endoscopie…), les services de transport des patients (brancardage), les services de consultation, les services d'imagerie, les services logistiques, les services de biologie (laboratoires...) et les services techniques et administratifs.

Face à la diversité et à la complexité des systèmes qu'ils doivent piloter, les managers hospitaliers ont besoin d'outils d'aide à la décision leur permettant de prendre en compte l'ensemble des spécificités des systèmes de leur domaine en vue d'améliorer leur fonctionnement et d'assurer une viabilité financière à long terme. Par « managers hospitaliers », nous pensons non seulement aux personnels de direction mais également aux médecins chefs de services ou encore aux cadres supérieurs de santé qui encadrent le personnel paramédical. En fonction de leur statut mais également de leur position dans la structure, leurs besoins peuvent différer. Concrètement, il s'agit par exemple d'apporter des éléments de réponses aux questions suivantes : combien de salles d'opérations faut-il construire ?, quelles incidences sur l'organisation va avoir le regroupement de deux services dans une même unité ?, combien de salles d'examens ouvrir et combien d'équipes prévoir pour une charge donnée ?, quelle action permettrait de réduire au maximum le temps d'attente des patients ?...

De nombreux travaux (génie logiciel, recherche opérationnelle…) ont été menés ces dernières années pour les aider dans cette démarche, en essayant la plupart du temps d'adapter les méthodes et outils ayant fait leurs preuves pour les systèmes industriels. Ces travaux montrent l'importance d'une bonne connaissance du système étudié et d'une bonne formalisation de cette connaissance, grâce notamment à la modélisation, pour pouvoir concevoir des outils d'aide à la décision adaptés. Ils montrent également les limites de l'adaptation de ces méthodes et outils aux systèmes hospitaliers.

Un des objectifs de notre travail est de fournir aux différents managers hospitaliers des outils d'aide à la décision pour répondre à leurs besoins à la fois différents mais complémentaires, voire contradictoires. Ces outils devront permettre d'obtenir les indicateurs nécessaires pour l'évaluation de la performance et la prise de décision. Chaque outil devra être adapté au système étudié afin de pouvoir tenir compte de ces particularités. Toutefois, nous souhaitons que ces outils puissent également répondre aux problématiques communes à l'ensemble des systèmes du domaine. Notre domaine d'étude est un nouvel hôpital, mais nous souhaitons développer des outils « génériques » facilement instanciables sur d'autres systèmes et d'autres établissements. Nos

travaux tenteront d'unifier les démarches, méthodes et outils employés pour la modélisation des systèmes hospitaliers, l'évaluation de leur performance et leur optimisation.

Les principaux problèmes que nous avons identifié et auxquels nous tentons d'apporter une réponse avec un objectif d'unification sont :

- une typologie des systèmes hospitaliers ;
- la proposition d'une méthodologie de modélisation pour le domaine des systèmes hospitaliers ;
- la proposition d'un langage de spécification permettant de prendre en compte la complexité de ces systèmes ;
- la formalisation et la résolution du problème de la composition des équipes ;
- la formalisation et la résolution des problèmes de dimensionnement, de planification et d'ordonnancement de l'activité opératoire.

Les réponses à ces problèmes seront apportées aux trois horizons temporels (opérationnel, tactique et stratégique) et aux niveaux de modélisation macroscopique, mesoscopique et microscopique. Ce croisement entre les trois horizons temporels et les trois niveaux de modélisation (que nous appellerons également matrice 3x3) sera le fil conducteur de nos travaux. Afin de présenter des modèles et des outils les plus génériques possibles nous nous appuierons sur cette matrice 3x3 pour identifier les problématiques et apporter des éléments de réponse. Notre démarche est progressive afin de garder, à chacune des étapes, un maximum de généricité et de pouvoir largement réutiliser les modèles et outils réalisés pour d'autres systèmes du domaine.

Le mémoire de thèse est structuré en deux parties et est composé de onze chapitres.

La première partie intitulée « Méthodologie ASCI-SH pour les systèmes hospitaliers » comprend les chapitres :

- Contexte et problématique.
- Typologie et problématiques des systèmes hospitaliers.
- Etat de l'art.
- Proposition d'un Langage d'Analyse et d'Étude des Systèmes Hospitaliers.
- Présentation de la Méthodologie ASCI et proposition d'instanciation sur les Systèmes Hospitaliers : ASCI-SH.
- Modélisation du domaine avec ASCI-SH.

La deuxième partie intitulée « Modélisation des sous-domaines. Application au NHE » comprend les chapitres :

- Les étapes de la méthodologie ASCI-SH pour chaque sous-domaine.
- Le sous-domaine des blocs obstétricaux.
- Le sous-domaine des blocs opératoires.
- Le sous-domaine des unités de soins.
- Le sous-domaine des urgences et le sous-domaine du brancardage.

Les annexes du mémoire de thèse dans lesquelles nous décrivons en particulier deux composants logiciels et trois outils d'aide à la décision contiennent les éléments suivants :

- Annexe I. Liste des principaux codes LAESH
- Annexe II. L'organisation administrative des systèmes hospitaliers : définitions
- Annexe III. Composants logiciels
- Annexe IV. Présentation de l'outil d'aide à la décision pour le sous-domaine des blocs obstétricaux et de sa mise en œuvre
- Annexe V. Présentation de l'outil d'aide à la décision pour le sous-domaine des blocs opératoires et de sa mise en œuvre
- Annexe VI. Présentation de l'outil d'aide à la décision pour le sous-domaine des unités de soins et de sa mise en œuvre

Nous concluons nos travaux en donnant un bilan et les perspectives envisagées.

Première partie

Méthodologie ASCI-SH pour les systèmes hospitaliers

Introduction de la Première Partie

La première partie du mémoire de thèse intitulée « Méthodologie ASCI-SH pour les systèmes hospitaliers» comprend les chapitres :

- Contexte et problématique.
- Typologie et problématiques des systèmes hospitaliers.
- État de l'art.
- Proposition d'un Langage d'Analyse et d'Étude des Systèmes Hospitaliers.
- Présentation de la Méthodologie ASCI et proposition d'instanciation sur les Systèmes Hospitaliers : ASCI-SH.
- Modélisation du domaine avec ASCI-SH.

L'objectif du premier chapitre est de présenter le contexte dans lequel ont été réalisés nos travaux de recherche. Nous présentons brièvement les systèmes de production de soins avant de présenter plus en détail le CHU de Clermont-Ferrand et le projet du Nouvel Hôpital d'Estaing. Dans la seconde section, nous rappelons l'historique du système hospitalier français avant d'en donner une cartographie.

Dans la troisième section, nous présentons le Centre Hospitalier Universitaire de Clermont-Ferrand. Nous nous intéressons plus en détail au Nouvel Hôpital Estaing (NHE), établissement du CHU de Clermont-Ferrand qui a représenté notre principal terrain d'études. Nous présentons le projet de modélisation de ce Nouvel Hôpital dans lequel une partie de nos travaux de recherche s'intègre.

La quatrième section donne l'objet de nos travaux qui visent l'unification et la résolution des problèmes de modélisation et d'aide à la décision pour les systèmes hospitaliers.

Le deuxième chapitre définit plus en détail les principaux éléments des systèmes hospitaliers afin d'en faire ressortir leurs spécificités et problématiques. Pour répondre à ces problématiques, nous définissons ensuite les principaux indicateurs de performance à fournir aux managers hospitaliers en vue de leur apporter une aide à la décision et au pilotage. Nous abordons ensuite la complexité des systèmes étudiés qui permet de faire ressortir un besoin en termes de méthodes de modélisation et d'outils d'aide à la décision.

La seconde section définit les principaux éléments du domaine des systèmes hospitaliers. Nous donnons les principales caractéristiques liées aux patients et à l'activité avant de nous intéresser à celles qui sont propres aux ressources humaines et matérielles.

Dans la troisième section, nous nous intéressons aux spécificités des systèmes hospitaliers en les comparant, dans un premier temps, à celles des systèmes industriels. Nous donnons ensuite une typologie des systèmes que nous étudions afin de pouvoir les comparer entre eux.

Nous consacrons la quatrième section aux spécificités de la prise en charge de l'activité par les ressources humaines qui nous paraissent être un élément central de la complexité des systèmes que nous étudions.

La cinquième section permet de présenter les problématiques des systèmes hospitaliers ainsi que les principaux indicateurs permettant d'apporter des éléments de réponse.

Nous abordons également la complexité de ces systèmes avant de conclure dans la sixième section par le besoin en méthodes de modélisation et outils d'aide à la décision pour répondre à cette complexité.

Dans le troisième chapitre, nous donnons un état de l'art sur les méthodes et outils pour la modélisation des systèmes hospitaliers. Nous nous intéressons ensuite à l'évaluation de la performance et à l'optimisation de ces systèmes. Nous développons la problématique de la planification et l'ordonnancement de l'activité opératoire pour laquelle les travaux issus de la recherche opérationnelle sont nombreux.

Dans ce chapitre nous donnons dans la seconde section un aperçu de la littérature sur la modélisation des systèmes hospitaliers. Nous étudions les outils et langage avant de nous intéresser au couplage entre les niveaux de modélisation et les horizons temporels.

La troisième section concerne les solutions apportées pour l'évaluation et l'optimisation des systèmes hospitaliers.

Nous avons choisi dans la quatrième section de nous intéresser aux problématiques liées à la planification et l'ordonnancement opératoire auxquelles nous aurons à répondre dans nos travaux.

Dans le quatrième chapitre, nous proposons un langage de modélisation permettant de prendre en compte la complexité liée aux parcours patient et aux combinaisons de ressources humaines prenant en charge l'activité, tout en restant un bon outil de communication avec les équipes hospitalières.

Nous présentons dans la seconde section la représentation graphique de LAESH en donnant les concepts de bases, éléments graphiques et symboles de structuration de ce langage avant de présenter les extensions apportées pour l'étude des systèmes hospitaliers.

Dans la troisième section, nous présentons le langage de description et les variables rattachées à la représentation graphique.

L'objectif du cinquième chapitre est de présenter la méthodologie ASCI (Analyse, Spécification, Conception, Implémentation) puis d'en proposer une instanciation sur le domaine des systèmes hospitaliers. Nous nommons cette démarche ASCI-SH.

La deuxième section présente la méthodologie ASCI qui, pour un système donné, repose sur les principes suivants :

- la décomposition systémique d'un système en trois sous-systèmes ;
- la construction d'un modèle de connaissance qui décrit la structure et le fonctionnement du système dans un langage naturel, graphique ou formel ;
- l'obtention d'un modèle d'action qui est une traduction du modèle de connaissance dans un formalisme mathématique (modèle mathématique, modèle à réseaux de files d'attente, …) ou dans un langage de programmation (langage de simulation, …) permettant l'évaluation des critères de performance choisis ;
- la définition d'un modèle de résultats, alimenté par le modèle d'action, qui regroupe les critères de performance nécessaires à la prise de décision ;
- un processus de modélisation : l'exploitation du modèle de connaissance et du modèle d'action est appelée processus de modélisation.

Nous introduisons ensuite les notions de domaine (ou classe de systèmes) et de sous-domaine. La méthodologie ASCI préconise pour un domaine la construction d'un modèle générique de

connaissance et d'une bibliothèque de composants logiciels dont nous présentons également les notions. Pour conclure cette section, la méthodologie ASCI conduisant à la conception d'un environnement logiciel de modélisation, nous définissons cette notion et donnons la composition de cet environnement.

Dans la troisième section, nous présentons notre instanciation de la méthodologie ASCI sur le domaine des systèmes hospitaliers que nous proposons de nommer ASCI-SH.

Nous définissons uniquement les méthodes, outils et langages que nous choisissons pour les différentes étapes de la méthodologie. La modélisation du domaine des systèmes hospitaliers avec ASCI-SH fait l'objet d'une présentation détaillée dans le chapitre 6.

Dans un deuxième temps, nous décrivons notre démarche pour la mise en œuvre de notre méthodologie ASCI-SH sur tout sous-domaine du domaine de systèmes hospitaliers. Nous précisons les différentes étapes qui seront suivies pour la modélisation des sous-domaines étudiés dans la deuxième partie :

- sélection des outils, méthodes et langage parmi ceux préconisés par ASCI-SH pour le domaine ;
- conception du modèle générique de connaissance du sous domaine à partir du modèle générique de connaissance du domaine ;
- sélection des composants logiciels du domaine utilisables pour le sous-domaine et conception d'une base de composants logiciels spécifiques au sous domaine ;
- définition des règles de passages du modèle de connaissance au modèle d'action ;
- sélection des indicateurs de performances parmi ceux proposés dans le modèle de résultats du domaine et ajouts d'indicateurs spécifiques au sous-domaine.

L'objectif du sixième chapitre est de présenter l'utilisation de la méthodologie ASCI adaptée aux systèmes hospitaliers. Nous nommons cette démarche ASCI-SH et la mettons en œuvre pour proposer un modèle générique de connaissance du domaine des systèmes hospitaliers. Nous décomposons le domaine en trois sous-systèmes communicants avant de nous intéresser à la spécification des principales règles de gestion du domaine et du comportement des entités. Nous nous intéressons au problème de la composition des équipes avant de proposer une bibliothèque de composants logiciels génériques et un modèle de résultats pour le domaine des systèmes hospitaliers.

Dans la deuxième section, nous construisons le modèle générique du domaine des systèmes hospitaliers avec ASCI-SH. Nous nous intéressons à la décomposition systémique du domaine avant de détailler la spécification des règles de gestion et du comportement des entités.

Dans la troisième section, nous nous intéressons à la problématique de la composition des équipes que nous avons identifiée comme un problème nouveau et difficile et pour lequel nous proposons deux formalisations auxquelles correspondent deux composants logiciels. La première solution tient compte des secteurs d'affectation et zones d'intervention des ressources humaines. La seconde prend également en compte la notion de « compétence » intrinsèque à chaque ressource.

Nous présentons ensuite dans la quatrième section la conception d'une bibliothèque de composants logiciels pour le domaine. Nous expliquons la dérivation du diagramme de classes d'analyse en diagramme de classes de conception avant de donner la bibliothèque des composants et d'en détailler deux exemples.

Nous proposons enfin dans la cinquième section un modèle de résultats pour le domaine des systèmes hospitaliers.

Chapitre 1

Contexte et problématique

Sommaire

1. Introduction

Les établissements de soins et de santé (centres hospitaliers, centre de soins spécialisés, etc.) sont confrontés aux mêmes contraintes que les entreprises de production de biens. La « chaîne de soins » doit assurer un service optimal au patient tout en veillant à son équilibre financier. Dans ce contexte il apparaît indispensable de mener une réflexion globale sur la gestion des systèmes hospitaliers et leur évolution. Le secteur hospitalier est ainsi devenu un objet spécifique d'investigation scientifique.

Dans la deuxième section, nous présentons les systèmes de production de soins. Nous rappelons l'historique du système hospitalier français avant d'en donner une cartographie.

Dans la troisième section, nous présentons le Centre Hospitalier Universitaire de Clermont-Ferrand. Nous nous intéressons plus en détail au Nouvel Hôpital Estaing (NHE), établissement du CHU de Clermont-Ferrand qui a représenté notre principal terrain d'études. Nous présentons enfin le projet de modélisation de ce Nouvel Hôpital dans lequel une partie de nos travaux de recherche s'intègre.

La quatrième section présente l'objet de nos travaux qui visent l'unification et la résolution des problèmes de modélisation et d'aide à la décision dans les systèmes hospitaliers.

2. Systèmes de production de soins et systèmes hospitaliers

Les systèmes de production de soins font partie intégrante des systèmes de production de biens et de services. Dans la suite de nos travaux, nous nous intéresserons aux systèmes hospitaliers qui représentent une grande partie, mais non la totalité des systèmes de production de soins. Nous laisserons donc de côté tout ce qui ne concerne pas les établissements de santé tels que, par exemple, les cabinets de médecins généralistes ou spécialisés, les structures d'hospitalisation à domicile ou, plus généralement les réseaux de soins dans leur globalité.

Dans cette section, nous présentons l'historique et la cartographie du système hospitalier français avant de nous intéresser au CHU de Clermont-Ferrand et au Nouvel Hôpital Estaing.

2.1. Historique du système hospitalier français

Le secteur hospitalier français fait cohabiter des établissements de différents types de statuts juridiques combinant des modes d'organisation et de gestion, de financement et de régulation, de participation aux missions de service public très différentes. Les statuts des personnels travaillant dans ces établissements sont également variés. Cette diversité, essentiellement héritée de l'histoire, reste aujourd'hui encore très structurante de l'organisation de l'offre de soins hospitalière et en particulier de la répartition des lits et de l'activité.

Une première distinction est faite entre secteur hospitalier public et privé. La loi hospitalière de 1970, en introduisant la notion de service public hospitalier dont les missions ne sont pas assurées uniquement par le secteur public, amène une nouvelle distinction : les établissements qui participent au service public hospitalier (PSPH) et ceux qui n'y participent pas (SAE, 2008; IRDES, 2009) :

- Les établissements publics représentent en France environ 65% des capacités d'accueil.
- Les établissements Privés à but Non Lucratif environ 28% des 3000 hôpitaux français et 15% des capacités d'accueil. Ce sont, en majorité, des établissements Participant au Service Public Hospitalier (PSPH).

- Les établissements Privés Lucratifs (PL) dont la place relative tend à augmenter représentent les 20% restant.

Pierre Bauchet (2008) remarque que cette répartition entre public et privé et sa faible évolution sont originales en France en comparaison de celles d'autres pays occidentaux où les autorités cherchent à assouplir la gestion du secteur hospitalier en privatisant les structures des hôpitaux publics tout en les encadrant.

A l'intérieur de chacun de ces ensembles hospitaliers nous distinguons :

- La section hôpital : soins de courte durée (en moyenne 5 à 8 jours lors de la phase aiguë de la maladie), soins de suite ou réadaptation (soins ou traitements continus après la phase aiguë, séjours représentant en moyenne une quarantaine de jours) et soins de longue durée et lutte contre les maladies mentales (personnes n'ayant plus leur autonomie de vie et dont l'état nécessite une surveillance médicale constante et des traitements d'entretien) ou contre les toxicomanies (alcools et drogues).
- La section hébergement pour personnes âgées
- Les autres disciplines sociales et médico-sociales : maisons maternelles, foyers de l'enfance.

2.2. Cartographie du système hospitalier français

Construit au fil de plusieurs décennies, résultant à la fois d'initiatives publiques et privées, le secteur hospitalier français présente aujourd'hui un paysage varié.

On y trouve des établissements de différents types de statuts juridiques, qui ont des modes d'organisation et de gestion, de financement et de régulation, de participation aux missions de service public, très différents. Les établissements de santé sont des personnes morales de droit public ou privé.

Le Tableau 1-1 (source : (D.H.O.S, 2006)) donne la définition du champ hospitalier public et privé et ses modalités de financement depuis la réforme du financement des établissements de santé.

3. Le Centre Hospitalier Universitaire de Clermont-Ferrand et le Nouvel Hôpital Estaing

Le Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Clermont-Ferrand est un Établissement Public de Santé (EPS) régional de proximité avec 91 % des patients en provenance de la région Auvergne. Il représente un des principaux employeurs de la région avec plus de 6550 salariés (en équivalent temps plein) dont plus de la moitié (58%) sont des personnels soignants.

Les CHU se définissent par leur triple mission de soins, d'enseignement et de recherche-innovation auxquelles s'ajoutent des actions de prévention, d'éducation en santé, d'assistance médico-sociale, de coopérations régionale, interrégionale et internationale et des interventions humanitaires.

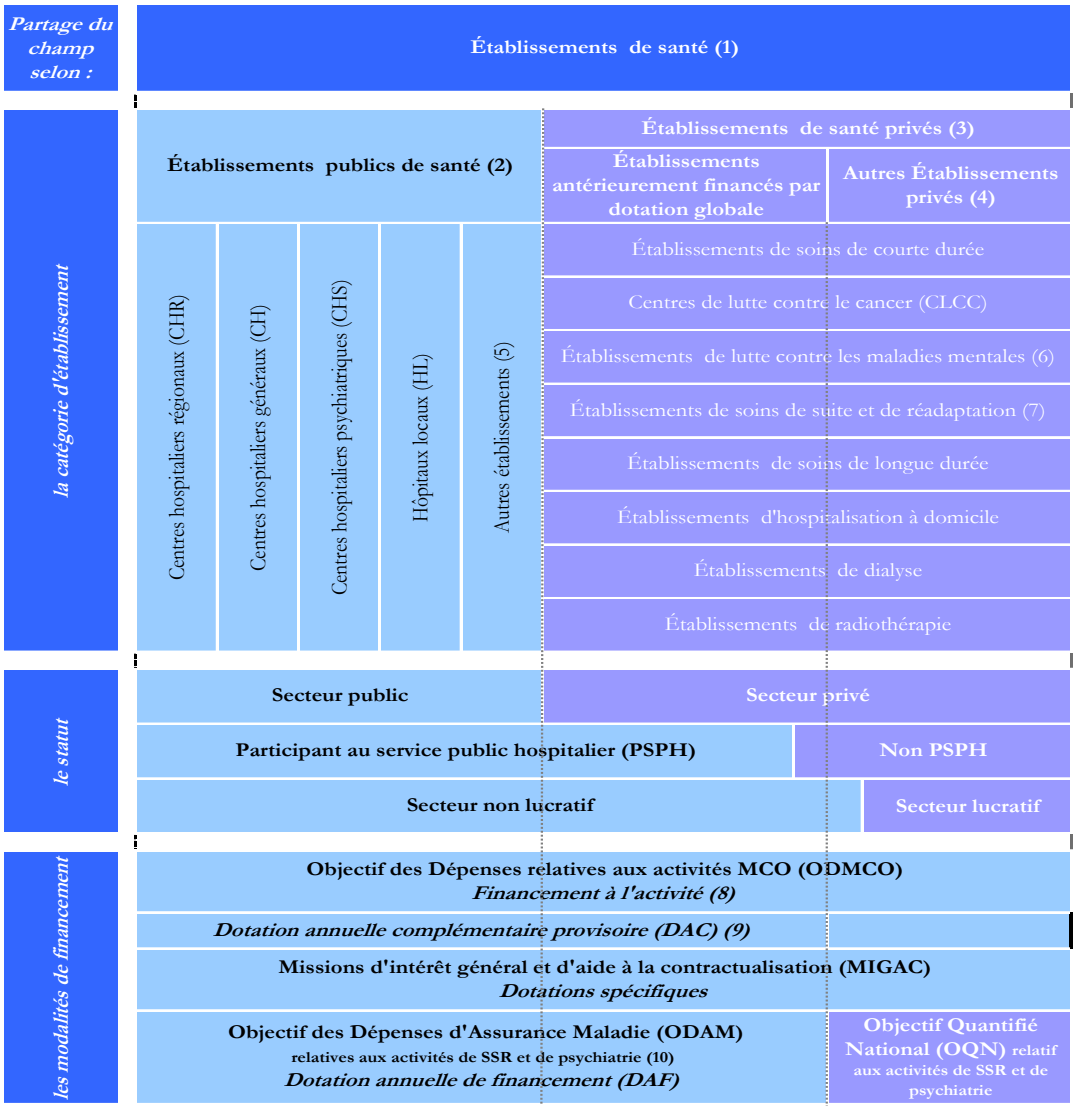


Tableau 1-1. Définition du champ hospitalier public et privé

(1) Établissements sanitaires publics et privés faisant de l'hospitalisation à temps complet, à temps partiel ou à domicile, ou bien qui ont une autorisation pour une activité de soins. Sont inclus les unités pénitentiaires et les hôpitaux militaires.

(2) Dans le public, il existe selon la loi les centres hospitaliers et les hôpitaux locaux. On distingue les centres hospitaliers régionaux (CHR) à vocation régionale, les centres hospitaliers généraux, CH qui ont plus d'un grand groupe de discipline d'équipement MCO, les centres hospitaliers psychiatriques, CH spécialisés en psychiatrie anciennement dénommés CHS, et les hôpitaux locaux (HL) qui ont un nombre limité de lits de médecine. Les établissements ne rentrant pas dans ces catégories sont regroupés dans les autres établissements - cf. note (5) -.

(3) Dans le privé, les établissements sont regroupés selon leur activité principale. Le nom de cette activité est donné à la catégorie d'établissements.

(4) Catégorie regroupant les établissements privés antérieurement sous objectif quantifié national (OQN) et quelques établissements dont le mode de financement a vocation à disparaître (tarif d'autorité et autres tarifications

(5) Syndicats interhospitaliers (SIH), établissements non rattachés à un centre hospitalier regroupant quelques établissements d'enfants à caractère sanitaire, de soins de longue durée, de lutte contre la tuberculose ou de post-cure pour alcooliques, hôpitaux militaires et établissements sanitaires des prisons.

(6) Y compris les hôpitaux psychiatriques privés (HPP).

(7) Y compris les pouponnières à caractère sanitaire, les maisons d'enfants à caractère sanitaire (MECS) et les centres de post-cure pour alcooliques.

(8) En plus de la rémunération de l'activité MCO par des tarifs de prestations, les établissements entrant dans le champ de la tarification à l'activité (T2A) peuvent bénéficier de rémunérations pour les médicaments et les dispositifs médicaux implantables facturés en sus, et de forfaits annuels pour les activités d'urgences, les prélèvements d'organes et les greffes.

(9) Part du financement de l'activité en MCO restant sous dotation annuelle et assurant la transition vers un financement totalement alloué à l'activité.

(10) L'ODAM concerne également l'activité des établissements maintenus hors du champ de la T2A (hôpitaux locaux, USLD, INI, hôpital de Fresnes, établissements de St Pierre et Miquelon et Mayotte).

Le terme d'établissement de santé recouvre dans un même concept deux notions différentes :

- l'entité juridique qui correspond à la définition de l'entité institutionnelle de la comptabilité publique ; elle possède un conseil d'administration et une direction ; elle est maîtresse de sa décision, exerce une activité indépendante, perçoit des ressources et gère un patrimoine ;
- l'entité géographique qui correspond en général au site de production (mais aussi éventuellement au site porteur du budget) ; l'entité géographique dépend de l'entité juridique, une même entité juridique ne pouvant, en théorie, donner lieu à plusieurs établissements qu'à la condition d'implantations géographiques ou de budgets différents. Dans le secteur public, une entité juridique peut regrouper plusieurs établissements se trouvant sur des sites géographiquement éloignés. C'est le cas du CHU de Clermont-Ferrand (Figure 1-1).

La capacité d'accueil du CHU de Clermont-Ferrand est de 1 946 lits, places et postes, géographiquement répartis de la façon suivante (chiffres 2008) :

- Hôpital Gabriel Montpied : 788 lits, places et postes orientés uniquement vers la prise en charge médicale et chirurgicale ;
- Centre Médico-Psychologique : 298 lits et places pour la prise en charge des adultes et des enfants ;
- Hôtel-Dieu : 518 lits et places de Médecine Chirurgie Obstétrique (MCO), fortement orientés vers la prise en charge de la mère et de l'enfant et des pathologies digestives ;
- Hôpital Nord : 342 lits dont 223 de long séjour

Construit en 1773, étendu à la fin du XIXe puis dans les années 1920/1930, principalement dédié à la mère et à l'enfant, l'Hôtel-Dieu est situé au centre de Clermont-Ferrand. Depuis avril 2010, l'ensemble de ses activités ont déménagé vers le Nouvel Hôpital Estaing (officiellement baptisé le « CHU Estaing »).

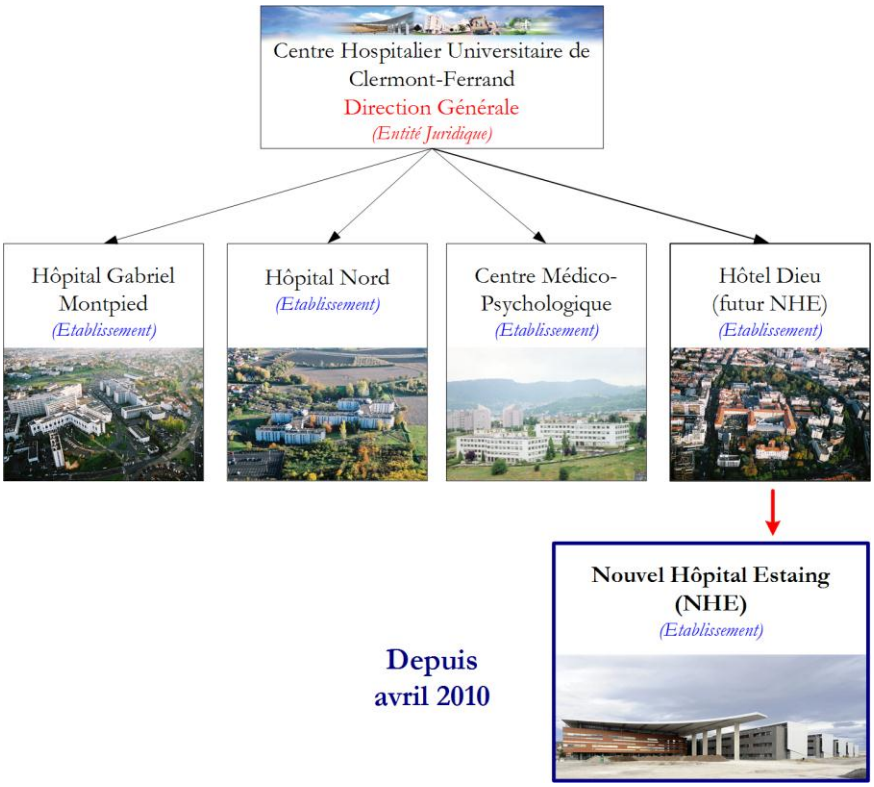


Figure 1-1. Les établissements du CHU de Clermont-Ferrand

3.1. Le Nouvel Hôpital Estaing (NHE)

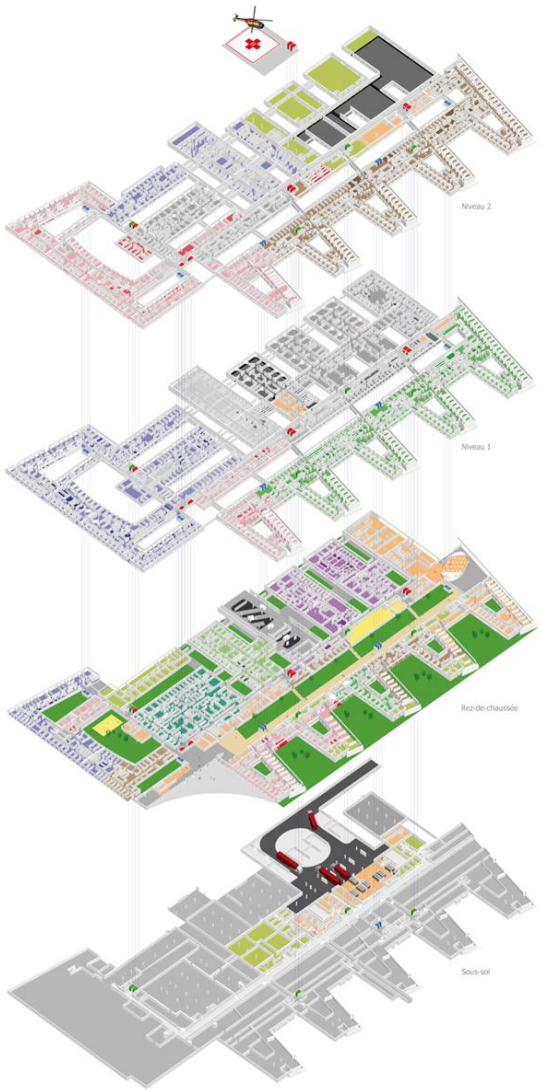
Le NHE a pour objectif de devenir une grande infrastructure moderne et efficiente, consacrée à la mère, la femme, l'enfant, à une partie de l'activité médico-chirurgicale adulte et à l'hématologie clinique. Les services de soins indépendants à l'Hôtel Dieu sont regroupés en pôles sur le même. Les services de prestations logistiques sont pour partie externalisés et coordonnés entre plusieurs autres hôpitaux clermontois. Plusieurs blocs opératoires indépendants sont regroupés dans un seul.

3.1.1. La structure du NHE

Le Nouvel Hôpital Estaing représente :

- Près de 100 000m2 de surface au sol ;
- 565 lits ;
- Un bâtiment sur 4 niveaux regroupant les 8 pôles suivants : Mère nourrisson, Pédiatrie, Digestif, Spécialité, Imagerie, Anesthésie, Laboratoire, Administration.

La Figure 1-2 donne les principaux services du NHE répartis par niveau.



Sur le toit : hélistation

Au 2ème étage :
Bloc obstétrical
Réanimation néonatale
Services d'hospitalisation

Au 1er étage :
Blocs opératoires et salles de Réveil
Internat
Réanimation et surveillance continue adulte
Services d'hospitalisations

Au rez-de-chaussée :
Accueil et rue intérieure
Administration
Cafeteria
Consultations
Laboratoires
Plateau technique d'imagerie
Restaurant du personnel
Service biomédical
Services techniques
Urgences pédiatriques

Au sous-sol :
Archives
Chambre mortuaire, espace polyculturel
Zone de transit

Figure 1-2. Les différents niveaux du NHE

Après son ouverture, le NHE aura à gérer :

- 6000 personnes par jour ;
- 15000 admissions en urgence par an, 107000 consultants et 26000 hospitalisés.

1762 agents dont 306 médecins travailleront dans cette nouvelle structure dotée de 565 lits dans des chambres pour la plupart individuelles.

Les activités de l'Hôtel Dieu et du NHE sont résumées en termes quantitatifs dans le Tableau 1-2. D'après ces données, la surface et le nombre de lits augmentent mais la productivité devrait également croître, dans son ensemble, même si le nombre de personnels reste constant. Les changements apportés par la conception du NHE devraient équilibrer ces hausses. Les bénéfices retirés par le personnel se situeront au niveau du gain de temps par activité ou de l'augmentation du temps consacré aux patients.

La diminution du nombre de blocs s'explique par le regroupement de plusieurs blocs opératoires, localisés dans des bâtiments distincts de l'Hôtel-Dieu, en un seul bloc central, situé au 1er niveau du NHE. Ce regroupement permettra, entre autres, une meilleure mutualisation des moyens et des ressources.

Catégorie	HD	NHE
Surface	44 000	68 000
Nombre de lits	530	565
Nombre de services	13	13
Nombre de pôles	0	8
Nombre de blocs opératoires	4	1
Nombre de salles d'opération chirurgicales	13	13

Tableau 1-2. Données comparatives entre l'Hôtel-Dieu et le Nouvel Hôpital d'Estaing

3.1.2. L'organisation en Pôles

Les treize services de l'Hôtel-Dieu sont regroupés en huit pôles au NHE. La notion de pôle d'activités a vu le jour avec l'ordonnance n° 2005-406 du 2 mai 2005. Cette nouvelle organisation prévoit le rapprochement des services au sein d'une structure à laquelle est déléguée, par le directeur de l'établissement, une part importante des responsabilités de gestion. Le pôle est dirigé par un coordinateur médical qui est nommé, sur liste de compétences, par le directeur et le président de la commission médicale d'établissement (CME). Il est aidé dans sa mission de pilotage par un cadre de santé et un cadre administratif. Dans chaque pôle est institué un conseil de pôle pour lequel un décret d'application doit prochainement définir les attributions, la composition et le mode de fonctionnement. La gestion est désormais mise en œuvre au plus près de la réalisation des soins sur les bases d'un contrat négocié, puis cosigné par le directeur de l'hôpital, le président de la CME et chaque responsable de pôle. Ce contrat définit :

- les objectifs financiers, d'activité et de qualité ;
- les moyens et les indicateurs de suivi d'activité ;
- les modalités d'intéressement liées aux résultats de gestion ;
- les conséquences en cas d'inexécution du contrat.

Cette organisation optimise les flux matériels et humains. Le NHE est construit autour d'un plateau technique partagé par toutes les unités d'hospitalisation et de consultation. Cette organisation favorise la limitation des circulations comme la gestion en flux tendus ou le service de brancardage général.

3.1.3. Le système d'information

Le système d'information du NHE, par rapport à celui de l'Hôtel-Dieu, est conçu afin de permettre un fonctionnement quasiment sans papier. Les principaux changements par rapport à cette informatisation seront : la mise en place du dossier médical informatisé, la gestion électronique de documents ou encore la couverture en réseau sans fil pour l'ensemble du bâtiment. Tous ces changements vont faire évoluer le lieu d'hospitalisation aussi bien pour les patients que pour les médecins, les soignants et tous les professionnels. Les patients trouveront technicité, compétences et relations humaines. Ils auront des chambres à un lit pour la majorité. Les professionnels de santé auront des conditions de travail qui vont améliorer leur efficacité de travail et les procédés. Depuis 2003, la direction du CHU a souhaité réfléchir sur les processus organisationnels et sur l'adaptation du personnel au nouvel hôpital

3.2. Le projet de modélisation du Nouvel Hôpital Estaing

Le NHE est traversé par de nombreux flux humains, matériels, financiers et informationnels. Face à la complexité organisationnelle, structurelle et fonctionnelle du futur hôpital, la direction du CHU a exprimé le besoin de disposer d'un ensemble d'outils d'aide à la décision pour maîtriser le fonctionnement et les changements engendrés par le NHE. Pour atteindre cet objectif, le CHU a fait appel au LIMOS et a créé en 2004 dans ses locaux une structure appelée « Atelier de Modélisation » (sous la responsabilité de Bernard Aleksy, ingénieur en organisation au CHU) consacrée au projet NHE dans laquelle travaillent quatre doctorants (financés par le CHU) et des étudiants des différentes formations clermontoises : universités, écoles d'ingénieurs, Conservatoire National des Arts et des Métiers (CNAM). Ces doctorants et étudiants sont encadrés par des permanents du LIMOS.

Le projet NHE, qui a débuté officiellement en octobre 2004, porte sur la modélisation, la simulation, l'optimisation et le pilotage des flux. Il s'agit de modéliser et simuler le fonctionnement complet d'un hôpital et de ses services en développant et en utilisant des méthodes et outils du Génie Logiciel et de la Recherche Opérationnelle.

Les services modélisés sont principalement : les unités de soins (au nombre de 40), le bloc obstétrical, le bloc opératoire, le service logistique, les urgences pédiatriques, le circuit du médicament, le brancardage.

Sur ces sujets, trois thèses sont en cours (une thèse sur la logistique hospitalière, une sur le circuit du médicament et une dernière constituant nos travaux) et une thèse a été soutenue en 2009 (Chauvet, 2009).

Les objectifs du projet NHE sont :

- la définition et la mise en œuvre d'une méthodologie de modélisation utilisée pour la conception d'une base de connaissance ;
- le développement d'outils d'aide à la décision génériques et réutilisables pour les systèmes hospitaliers ;
- le développement d'une démarche permettant d'accompagner le changement en contexte hospitalier par les méthodes et outils de modélisation, d'optimisation et de simulation.

Par exemple, les outils d'aide à la décision ont pour objectif d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Combien de salles d'opérations faut-il construire ?
- Quelles incidences sur l'organisation va avoir le regroupement de deux services dans une même unité ?

- Combien de salles d'examens ouvrir et combien d'équipes prévoir pour une charge donnée ?
- Que se passe-t-il si l'on doit accueillir les patientes de la maternité voisine (goulots d'étranglements,…) ?
- Quel ordonnancement peut-on proposer pour les opérations chirurgicales ?
- Quelle est l'organisation à mettre en place pour réduire le temps d'attente des patients et des chirurgiens au bloc opératoire ?
- Quelle action permettrait de réduire au maximum le temps d'attente des patients ?
- Comment réordonnancer des interventions et réaffecter les ressources en prenant en compte les aléas ?…….

L'atelier de modélisation fait partie intégrante du projet du Nouvel Hôpital Estaing et a acquis au fil des missions effectuées une véritable reconnaissance auprès du personnel hospitalier devenant ainsi un lieu d'échanges à l'interface entre le système actuel de l'Hôtel-Dieu et le futur hôpital. En cinq ans, plus de 250 personnes du CHU (médecins, personnels soignants…) ont été impliquées dans le projet en apportant leur connaissance du monde hospitalier. Une dizaine d'enseignants chercheurs et de doctorants ont permis d'encadrer plus de 80 étudiants de niveau bac +3 à bac +5.

A ce jour de nombreux travaux, qui couvrent des domaines variés, ont déjà été livrés à la direction du Nouvel Hôpital Estaing, permettant à celle-ci de disposer de nouveaux éléments l'aidant à orienter ses décisions concernant l'organisation et la gestion future de ce nouvel hôpital. Le projet de modélisation du NHE a par ailleurs été présenté à la communauté scientifique à plusieurs reprises, en France comme à l'étranger (Chabrol *et al.*, 2006a; Chabrol, Gourgand, and Rodier, 2007a; Aleksy *et al.*, 2008; Chabrol, Gourgand, and Rodier, 2008b, a) ainsi qu'aux directions de la Mission nationale d'expertise et d'audit Hospitaliers (MeaH) (Gourgand, Pontiès, and Rodier, 2008), de la Direction de l'Hospitalisation et de l'Organisation des Soins (DHOS) (Aleksy and Rodier, 2007), et à la Haute Autorité de Santé (HAS) (Aleksy and Rodier, 2006).

De manière générale, ces travaux ont permis de définir de nombreuses problématiques aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel et d'apporter des éléments de réponse.

4. Une tentative d'unification et de résolution des problèmes de modélisation et d'aide à la décision dans les systèmes hospitaliers

Dans le cadre de nos travaux de recherche, nous avons cherché à définir un cadre unique pour la modélisation des systèmes hospitaliers et la résolution de leurs principales problématiques. Nous nous sommes prioritairement intéressés aux systèmes assurant une prise en charge directe des patients. Nous avons ainsi appliqué notre démarche pour la valider sur cinq systèmes différents et assez représentatifs des différents systèmes que l'on trouve dans le domaine : le Plateau Médico-Technique (à travers un bloc obstétrical et un bloc opératoire), un service d'urgence (spécialisé en pédiatrie), une unité de soins et le service de brancardage central. Comme le montre la chronologie de la Figure 1-3, la première thèse réalisée sur le projet de modélisation du NHE a débuté en 2005 avec Julie Chauvet (Chauvet, 2009) avec qui nous avons travaillé sur les urgences pédiatriques.

Nous avons également complété un premier travail fait sur la base de connaissance des unités de soins afin de réaliser un nouvel outil plus complet et plus détaillé qui réponde aux besoins exprimés par les hospitaliers et qui soit totalement générique (variation des règles de gestion, de l'affectation des ressources aux plannings et aux zones géographiques…).

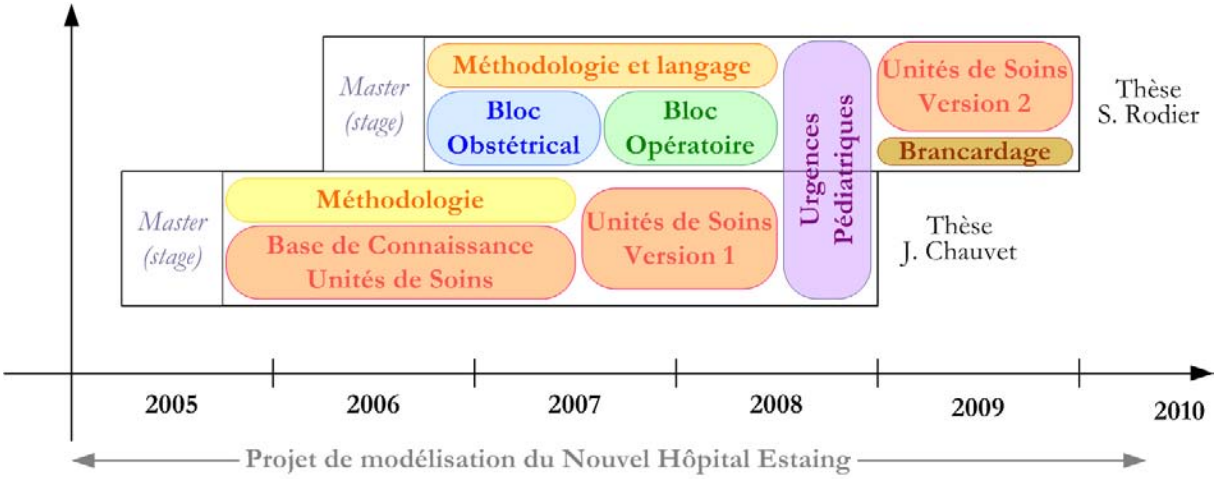


Figure 1-3. Chronologie de nos travaux

Dans la section suivante, nous présentons un peu plus en détail le thème de nos travaux de recherche.

Nous nous intéressons au domaine des systèmes hospitaliers qui regroupe de nombreux systèmes ayant des particularités bien distinctes. Parmi ces systèmes, nous pouvons citer :

- les unités de soins ;
- les services de prise en charge des urgences ;
- le plateau médico-technique (chirurgie, endoscopie, obstétrique…) ;
- les services de transport des patients (brancardage) ;
- les services de consultation ;
- les services d'imagerie ;
- les services logistiques ;
- les services de biologie (laboratoires...) ;
- les services techniques et administratifs.

Notre travail porte sur les services qui s'occupent d'une prise en charge directe du patient. Nous n'étudions pas les laboratoires, services logistiques et autres services prestataires internes. De plus, nous choisissons de mettre de côté les services de consultation, ces derniers ne nous paraissent pas assez représentatifs des problématiques propres aux systèmes hospitaliers car leur fonctionnement est relativement similaire aux services de consultation classiques (médecins de ville).

Face à la diversité et à la complexité des systèmes qu'ils doivent piloter, les managers hospitaliers ont besoin d'outils d'aide à la décision leur permettant de prendre en compte l'ensemble des spécificités des systèmes de leur domaine en vue d'améliorer leur fonctionnement et d'assurer une viabilité financière à long terme. Par « managers hospitaliers », nous pensons non seulement aux personnels de direction mais également aux médecins chefs de services ou encore aux cadres supérieurs de santé qui encadrent le personnel paramédical. En fonction de leur statut mais également de leur position dans la structure, leurs besoins peuvent différer. De nombreux travaux (génie logiciel, recherche opérationnelle…) ont été menés ces dernières années pour les aider dans cette démarche, en essayant la plupart du temps d'adapter les méthodes et outils ayant fait leurs preuves pour les systèmes industriels. Ces travaux montrent l'importance d'une connaissance détaillée du système étudié et d'une formalisation de cette connaissance, grâce notamment à la modélisation, pour pouvoir concevoir des outils d'aide à la décision adaptés. Ils montrent également les limites de l'adaptation de ces méthodes et outils aux systèmes hospitaliers.

Un des objectifs de notre travail est de fournir aux différents managers hospitaliers d'un hôpital, existant ou à venir, des outils d'aide à la décision pour répondre à leurs besoins à la fois différents mais complémentaires. Ces outils devront permettre d'obtenir les indicateurs nécessaires pour l'évaluation de la performance et la prise de décision. Chaque outil devra être adapté au système étudié afin de pouvoir tenir compte de ces particularités. Toutefois, nous souhaitons que ces outils puissent également répondre aux problématiques communes à l'ensemble des systèmes du domaine. Nous souhaitons développer des outils « génériques », c'est-à-dire facilement instanciables sur le NHE et sur d'autres systèmes et établissements.

5. Conclusion

Nous avons présenté dans ce premier chapitre les systèmes hospitaliers français et plus particulièrement notre terrain d'étude qui est le Nouvel Hôpital Estaing (CHU de Clermont-Ferrand). Nous avons ensuite brièvement introduit le sujet de nos travaux de recherche. Nos travaux ont pour objectif d'unifier les démarches, méthodes et outils employés pour la modélisation des systèmes hospitaliers, l'évaluation de leur performance et leur optimisation. Notre démarche est progressive afin de garder, à chacune des étapes, un maximum de généricité et de pouvoir largement réutiliser les modèles et outils réalisés pour d'autres systèmes du domaine.

Nous mettrons en œuvre cette démarche dans la deuxième partie de la thèse sur plusieurs systèmes du domaine hospitaliers pour lesquels nous proposons une typologie et présentons les problématiques dans le chapitre 2.

Chapitre 2

Typologie et problématiques des systèmes hospitaliers

Sommaire

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous proposons une typologie des systèmes étudiés et présentons leur principales problématiques. La deuxième section nous permet de présenter et définir les éléments du domaine des systèmes hospitaliers. Nous donnons les caractéristiques liées aux patients et à l'activité avant de nous intéresser à celles qui sont propres aux ressources humaines et matérielles. Dans la troisième section, nous nous intéressons aux spécificités des systèmes hospitaliers en les comparant, dans un premier temps, à celles des systèmes industriels. Nous donnons ensuite une typologie des systèmes que nous étudions afin de pouvoir les comparer entre eux. Nous consacrons la quatrième section aux spécificités de la prise en charge de l'activité par les ressources humaines qui nous paraissent être un élément central de la complexité des systèmes que nous étudions. La cinquième section permet de présenter les problématiques des systèmes hospitaliers ainsi que les principaux indicateurs permettant d'apporter des éléments de réponse. Nous abordons également la complexité de ces systèmes avant de conclure dans la sixième section par le besoin en méthodes de modélisation et outils d'aide à la décision pour répondre à cette complexité.

2. Définition des principaux éléments du domaine des systèmes hospitaliers

Dans cette section, nous distinguons les éléments liés au patient et à l'activité de ceux liés aux ressources. Nous donnons leurs principales caractéristiques obtenues lors du travail de recueil et de formalisation de la connaissance réalisé auprès des équipes médicales et soignantes.

2.1. Les caractéristiques liées au patient et à l'activité

2.1.1. Le patient

Élément central du système hospitalier, le patient, qui représente également le « client » du système, est caractérisé par de nombreux éléments que l'on retrouve en grande partie dans le système d'information du système. Ces informations peuvent être d'ordre administratives (nom, numéro de sécurité sociale, coordonnées…) ou médicales (pathologie, gravité, traitement…).

2.1.2. L'activité

Nous définissons une activité comme l'exécution d'un à plusieurs traitement(s) élémentaire(s) atomique(s) (i.e. indécomposable(s)) qui requièrent des ressources, du temps et des compétences et a pour effet de transformer un état d'entrée (ou objets d'entrée) en un état de sortie (ou objets de sortie). La Figure 2-1 donne pour exemple le découpage de l'activité « Intervention Chirurgicale » en quatre traitements élémentaires : préparation du patient, induction, acte chirurgical et pansement.

Dans un système hospitalier, les activités sont directement liées aux patients par l'intermédiaire des pathologies (soins directs) ou correspondent à d'autres tâches (soins indirects, activités aléatoires, ménage, pause, …). Nous considérons qu'au cheminement d'un patient à travers le système (depuis son entrée dans le système jusqu'à sa sortie) correspond un ensemble d'activités. D'autres activités peuvent être réalisées, indépendamment du cheminement des patients. L'ensemble de ces activités mobilisent des ressources humaines et matérielles.

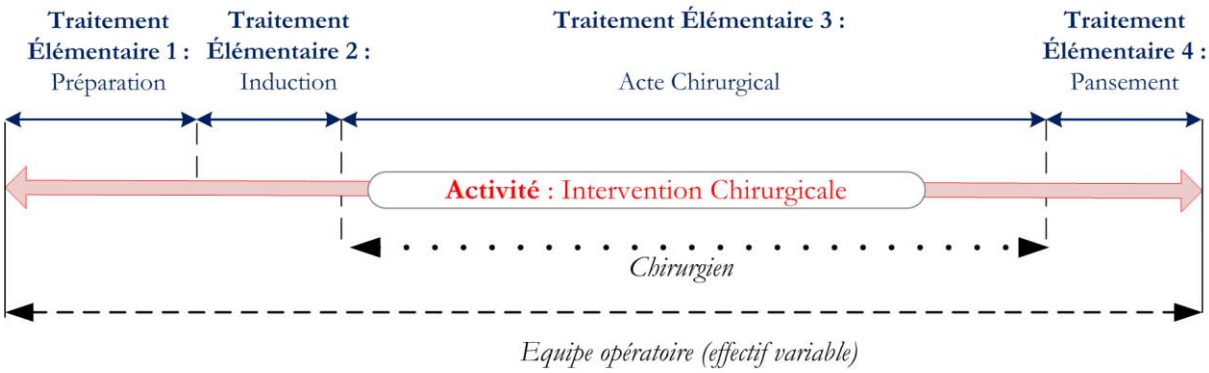


Figure 2-1. Découpage de l'activité « Intervention Chirurgicale » en traitements élémentaires

2.2. Les caractéristiques liées aux ressources humaines et matérielles

Les ressources peuvent être internalisées, externalisées ou mutualisé pour réaliser l'activité :

- Les ressources internalisées sont celles qui appartiennent au système étudié.
- Les ressources externalisées sont celles qui n'appartiennent pas au système tout en réalisant ou en participant à l'activité de celui-ci. Nous pouvons citer par exemple les activités d'entretien des locaux, de décontamination ou de maintenance qui peuvent être externalisées à des prestataires extérieurs ; voire qui peuvent être également délocalisées dans des structures extérieures (par exemple, pour la décontamination du petit matériel chirurgical).
- Les ressources mutualisées représentent une partie importante des ressources humaines intervenant dans les systèmes hospitaliers. Dans ses travaux sur le dimensionnement et le pilotage de ressources humaines mutualisées en milieu hospitalier, (Trilling, 2006) définit la mutualisation des ressources comme *« la mise en commun, le partage et l'échange de ressources pour la réalisation d'activités communes »*. Nous pouvons prendre l'exemple de l'activité de brancardage qui peut faire appel à des ressources mutualisées (brancardiers et brancards), ou encore les aides soignantes s'occupant de la décontamination des salles dans un bloc opératoire regroupant plusieurs spécialités chirurgicales.

2.2.1. Les ressources humaines

Chaque ressource humaine est rattachée à une fonction (médecin, infirmière, aide-soignante…), à une structure (service, établissement extérieur…) et suit un planning horaire de présence qui peut varier quotidiennement. Elle peut être affectée à un secteur d'affectation, qui comprend tout ou partie d'un système (unité de soins, bloc opératoire…), et qui varie généralement selon la fonction et le planning de présence. Comme nous le verrons au cours des chapitres suivants, les ressources humaines des systèmes hospitaliers sont également soumises à l'exécution quotidienne de règles de gestion complexes en termes de priorité (prioriser plusieurs tâches à effectuer au même instant t) et de préemption (abandonner temporairement ou définitivement une tâche pour aller en réaliser une autre).

2.2.2. Les ressources matérielles

Comme pour les ressources humaines, chaque ressource matérielle est rattachée à un type (objet, lieu…), à une structure (service, établissement extérieur…) et peut suivre un planning horaire de fonctionnement. Certaines de ces ressources sont également caractérisées par une capacité (par exemple, pour une salle d'attente).

2.2.3. Les plannings

La notion de planning dans les systèmes hospitaliers présente quelques particularités. Dans ces systèmes, où l'élément humain est prédominant, les plannings doivent intégrer une certaine souplesse et permettre aux ressources de continuer leur activité sous certaines conditions une fois leur planning « théorique » terminé. De plus, le planning hebdomadaire d'une ressource humaine est souvent le regroupement de plusieurs plannings quotidiens différents devant intégrer les périodes de garde et de récupération. La notion de « poste horaire » est souvent présente et permet en général de classer les différents plannings en quatre catégories : matin, soir, jour et nuit.

2.2.4. Les secteurs

Autre notion très présente dans les systèmes hospitaliers, celle de secteur. Nous définissons un secteur comme le regroupement d'un ensemble de lieux auquel peuvent être rattachées des ressources humaines et matérielles. Cela peut être par exemple un ensemble de chambres dans une unité de soins ou encore le regroupement des salles de césariennes et salles de réveil dans un bloc obstétrical. Les principales contraintes liées aux secteurs sont les suivantes :

- un même lieu peut être rattaché à un ou plusieurs secteurs ;
- les ressources peuvent intervenir sur un à plusieurs secteurs ;
- les secteurs auxquels sont affectées les ressources humaines peuvent dépendre de leurs fonctions, des plannings ou d'un croisement des deux.

Exemple : pour illustrer cette complexité, la Figure 2-2 représente un système où les chambres 9 à 12 sont rattachées au secteur 3 pour les infirmiers de jour, au secteur 2 pour les infirmiers de nuit et au secteur 1 pour les médecins. Les ressources peuvent également intervenir sur plusieurs secteurs, comme c'est le cas pour le médecin.

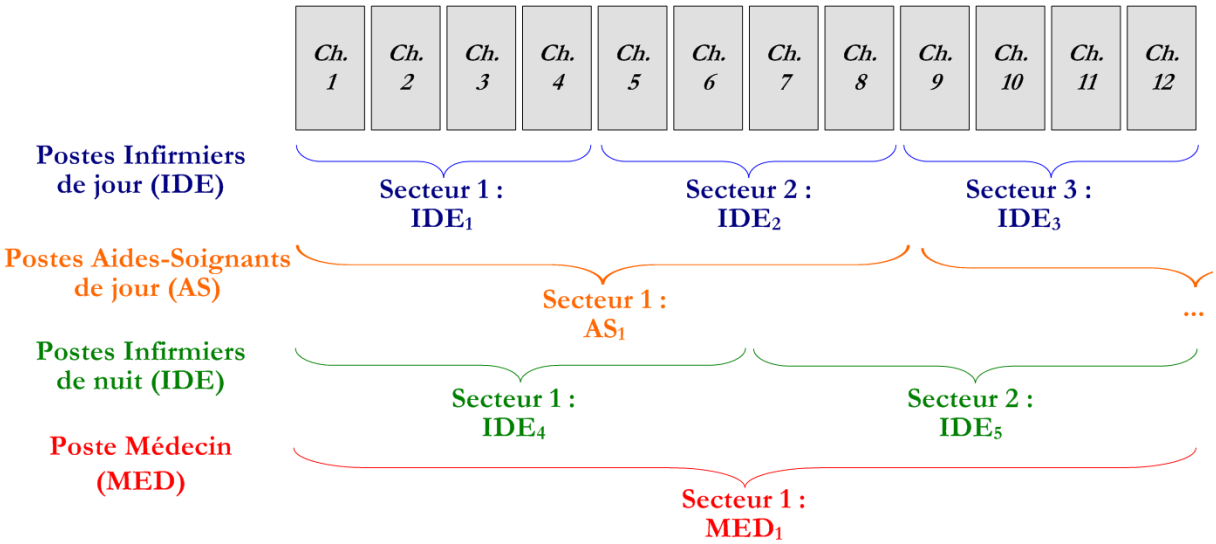


Figure 2-2. Découpage en secteurs

3. Principales spécificités des systèmes hospitaliers

Dans cette section, nous cherchons à faire ressortir les spécificités des systèmes hospitaliers en prenant comme élément de comparaison les systèmes industriels qui font l'objet, dans la littérature, de travaux de recherche plus nombreux. A partir des spécificités que nous identifions, nous comparons ensuite les différents systèmes que nous étudions.

3.1. Comparaison entre systèmes industriels et systèmes hospitaliers

Si des similitudes existent entre les systèmes industriels et les systèmes hospitaliers, ces derniers présentent des spécificités qui rendent leur modélisation particulièrement complexe et surtout différente. Elle pose, en effet, des problèmes nouveaux et difficiles, comme le montre le Tableau 2-1. Nous synthétisons dans ce tableau les principales spécificités différenciant ces deux types de systèmes.

	Systèmes industriels	**Systèmes hospitaliers**
Évolution de la gamme opératoire (ou du traitement du patient)	La gamme opératoire (*liste ordonnée des opérations à effectuer pour amener le produit à son état final*) est généralement connue a priori et respectée.	Le traitement du patient peut évoluer en fonction de son état mais également de la disponibilité des ressources à l'instant t.
Nombre de ressource(s) humaine(s) par activité	Rarement plus de 1 à 2 ressources humaines par poste pour une même activité.	Jusqu'à 8 ressources humaines pour une même activité (ex : activité chirurgicale) avec des règles de gestion complexes en termes de priorité et de préemption.
Personnalisation des ressources humaines	Deux opérateurs de caractéristiques (compétences…) identiques sont généralement considérés comme « interchangeables ».	Notion de ressource personnalisée particulièrement importante (ex : suivie d'une patiente par le même médecin)
Complexité de la gestion des files d'attente	Les files d'attente sont principalement gérées par des règles connues (First In First Out, Last In First Out…).	Les files d'attente sont gérées par des règles connues et par des règles de gestion plus complexes liées au patient et à l'état du système.
Évolution des plannings de fonctionnement	Les plannings de fonctionnement sont généralement fixés a priori pour les ressources matérielles et humaines et respectés.	Les plannings de fonctionnement sont généralement fixés a priori mais dans de nombreux cas c'est le patient qui détermine la fin de traitement par les ressources, et non l'inverse.
Importance des secteurs (zones géographiques) d'intervention des ressources	Si des secteurs (ou zones) sont définis, ils représentent la plupart du temps une partition géographique fixe.	Les secteurs représentent en général une décomposition du système avec des chevauchements possibles. Les secteurs sont variables et peuvent dépendre du croisement de plusieurs éléments (planning, fonction des ressources…).
Déplacement des ressources humaines	Les déplacements entre postes de travail sont rarement modélisés de manière fine et n'ont, la plupart du temps que peu d'incidence sur le fonctionnement du système.	Les déplacements sont fréquents, soumis à des règles bien spécifiques (sens de circulation…) et peuvent avoir une réelle incidence sur le fonctionnement du système.
Déplacement des clients/ patients	Le produit traité ne peut pas se déplacer indépendamment des ressources matérielles (ex : tapis roulant) ou humaines.	Le patient peut se déplacer dans le système indépendamment ou non des ressources matérielles ou humaines.

Tableau 2-1. Principales spécificités des systèmes hospitaliers par rapport aux systèmes industriels

Ces spécificités ont une influence sur l'évaluation des performances de tels systèmes. Les indicateurs classiques utilisés pour les systèmes industriels ne suffisent pas et sont quelquefois peu adaptés aux systèmes hospitaliers. Il est difficile (voire choquant) par exemple de parler de productivité pour des soignants ou encore de taux de rebut pour des patients. Au-delà de la simple terminologie, les systèmes hospitaliers doivent être appréhendés en tenant compte de leurs spécificités liées à l'activité de soins et se traduisant par de nombreux paramètres devant être pris en compte pour leur évaluation.

Nous pouvons citer par exemple des indicateurs sur le temps d'attente des patients ou encore l'adéquation entre les ressources humaines et matérielles demandées pour une activité donnée et celles obtenues. De même, il apparaît délicat (voire dangereux pour les patients) de réfléchir en termes de taux moyen d'occupation des ressources humaines. Il est évidemment préférable de raisonner en termes de ressources nécessaires à tout instant pour réaliser une activité de soins.

3.2. Typologie des systèmes étudiés

Nous donnons ici une comparaison entre les différents systèmes que nous étudions :

- le plateau médico-technique (PMT),
- le service des urgences,
- les unités de soins,
- le brancardage.

Si tous ces systèmes assurent une prise en charge du patient, ils ont des modes de fonctionnement bien distincts.

Dans ses travaux, (Trilling, 2006) regroupe sous le terme « Plateau Médico-Technique » : la chirurgie, l'endoscopie, l'imagerie interventionnelle, l'obstétrique et l'anesthésie (activité transversale). Le plateau médico-technique, est alors défini comme une infrastructure qui comporte deux secteurs : les salles d'intervention et les salles de surveillance post-interventionnelle (SSPI). Ces salles d'intervention peuvent être de nature chirurgicale, obstétricale ou exploratoire. Si l'on peut trouver de nombreuses similitudes entre les activités de chirurgie, d'endoscopie et d'imagerie interventionnelle au sein du PMT (activité essentiellement programmée), il convient de considérer le secteur obstétrique à part. L'activité d'une maternité, et de son bloc obstétrical est difficilement prévisible et programmable : les femmes enceintes sont accueillies à l'hôpital 24h sur 24h, tout au long de l'année. De plus, la structure d'un bloc obstétrical diffère souvent selon la taille et la catégorie de la maternité. Nous distinguons deux principaux types de structure :

- le bloc obstétrical composé uniquement d'une zone d'accouchement et qui dispose en général d'une salle d'opération réservée dans un autre bloc opératoire, en particulier pour les césariennes ;
- le bloc obstétrical qui intègre, en plus de la zone d'accouchement, un bloc opératoire où sont réalisées les césariennes et où peuvent être prises en charge les complications.

On peut également trouver, intégrées à la structure du bloc obstétrical, des salles de consultation en urgence. Ce système doit pouvoir alors prendre en charge de l'activité programmée, comme le bloc opératoire (césarienne programmée, interruption médicale de grossesse…) mais également de nombreuses activités aléatoires, comme c'est le cas pour les services d'urgences.

Pour tenir compte de ces particularités, nous avons donc choisi de nous intéresser à deux systèmes distincts du PMT : un bloc obstétrical et un bloc opératoire.

Nous proposons, à travers la Figure 2-3, une typologie des systèmes étudiés en reprenant sous la forme d'étoiles les spécificités énoncées dans le Tableau 2-1. Chaque branche de l'étoile représente une spécificité plus ou moins présente dans le système étudié. Plus l'on se rapproche de l'extrémité de la branche et plus cette spécificité est présente.

Sans grande surprise, la gestion des ressources est plus complexe pour les systèmes du PMT (bloc obstétrical et bloc opératoire) car ils mobilisent plus de ressources que les autres systèmes, notamment des ressources humaines (équipes opératoires et interventionnelles). Ces ressources sont personnalisées (le suivi du patient opéré ou de la patiente prête à accoucher se fera principalement par les mêmes équipes, de son entrée dans le système à sa sortie). Ce sont toutefois dans les systèmes des unités de soins et du brancardage que ces ressources réalisent le plus de déplacements (par exemple, entre les chambres ou entre les différents lieux de la structure).

Comme nous le verrons dans la deuxième partie, le bloc obstétrical que nous avons étudié est composé de salles de consultations d'urgence, d'une zone d'accouchement et d'un bloc opératoire de deux salles principalement dédiées aux césariennes. Ainsi, les spécificités de ce dernier, représentées sur la Figure 2-3, reprennent à la fois les spécificités propres au bloc opératoire et celles propres au service des urgences.

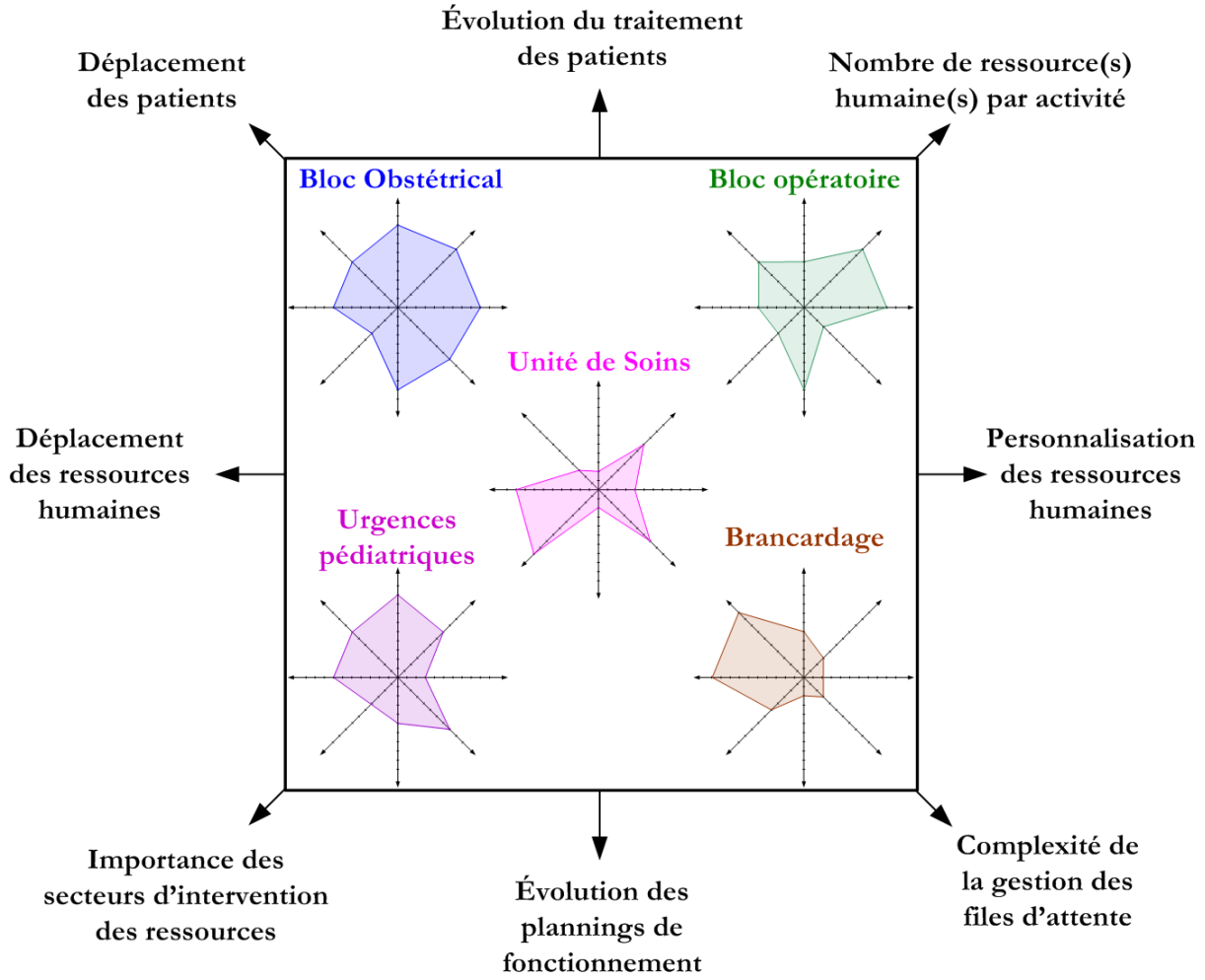


Figure 2-3. Typologie des systèmes étudiés

Pour les unités de soins, il n'y a que peu d'évolution dans le traitement initialement prévu pour les patients. Par contre la gestion des secteurs d'intervention des ressources s'avère plus complexe que pour les autres systèmes, les unités de soins étant généralement composées de plus

de secteurs (correspondant généralement à des regroupements de chambres) que les autres systèmes.

A l'inverse des unités de soins, les services de prise en charge des urgences et du bloc obstétrical (salles d'accouchement, salles de césariennes…) doivent majoritairement réaliser des activités aléatoires et le traitement des patients évolue fréquemment.

Le brancardage, qui réalise entre autres la liaison entre ces différents systèmes, doit donc répondre à la fois à des demandes programmées mais également à de nombreuses demandes aléatoires.

Pour ce qui est du déplacement des patients à l'intérieur de chaque système, celui-ci est négligeable pour les unités de soins. En effet, un patient en unité de soins a vocation à rester principalement dans sa chambre, même s'il peut être amené à sortir temporairement du système (examens, opération chirurgicale…), voire, selon l'organisation, à changer de chambre pendant son séjour. Pour les autres systèmes, le patient va fréquemment avoir à se déplacer entre différents lieux du même système pour être pris en charge (salle d'induction, salle d'opération, salle de réveil..).

On remarque tout naturellement que la majorité des spécificités des systèmes hospitaliers sont directement ou indirectement liées aux ressources humaines (nombre de ressources humaines par activité, personnalisation, déplacements, planning et affectation des secteurs).

Avant d'identifier les problématiques communes, nous approfondissons dans la section suivante les spécificités de la prise en charge de l'activité par les ressources humaines.

4. Spécificités de la prise en charge de l'activité par les ressources humaines

Nous reprenons un des points les plus importants qui crée la complexité : la prise en compte des ressources humaines. Comme nous l'avons vu, on retrouve ce point plusieurs fois dans notre typologie (Figure 2-3) :

- nombre de ressource(s) humaine(s) par activité ;
- personnalisation des ressources humaines ;
- complexité de la gestion des secteurs (zones) géographiques d'intervention des ressources ;
- déplacement des ressources humaines.

Pour cela, nous définissons les notions d'équipe et de combinaison.

L'analyse de l'activité hospitalière permet de démontrer rapidement la nature coopérative des tâches qui s'y effectuent et l'importance du facteur humain. L'interaction de différentes personnes d'une équipe est un processus complexe où chaque participant intervient avec des moyens et des procédures différenciés. De ces interactions et des différentes règles de gestion qui régissent le système, résulte(nt) une à plusieurs équipe(s) de ressource(s) humaine(s) possible(s) pour pouvoir réaliser chaque activité.

Avant d'illustrer nos propos, nous donnons quelques définitions :

- Définition 1 : une **équipe** est le regroupement de une à plusieurs ressource(s) humaine(s) pour réaliser un traitement élémentaire.

  Exemple : une équipe composée d'un médecin (M) et d'une infirmière diplômé d'état (IDE) pour examiner un patient :

  Équipe = (M + IDE)

- Définition 2 : une **combinaison de ressources** est l'ensemble des équipes possibles pour réaliser un traitement élémentaire.

  Exemple : une combinaison composée d'une équipe réunissant un médecin (M) et d'une infirmière diplômée d'état (IDE) pour examiner un patient, ou, si l'infirmière n'est pas disponible, d'un médecin tout seul :

  Combinaison = (M + IDE) **OU** M
  = Équipe 1 **OU** Équipe 2

- Définition 3 : une **règle de gestion** est une règle qui régit le fonctionnement du système. *Par exemple* :
  - Règle n°1a : les ressources humaines interviennent uniquement dans le(s) secteur(s) ou elles sont affectées.

    ou, à l'inverse
  - Règle n°1b : les ressources humaines interviennent prioritairement dans le(s) secteur(s) ou elles sont affectées. Elles peuvent intervenir, si besoin, dans les secteurs voisins, par ordre de proximité.

Afin de montrer la complexité systémique du domaine étudié, en grande partie liée à la prise en compte des ressources humaines, nous prenons l'exemple de la composition des équipes pour une activité donnée : l'activité de césarienne. Cette activité nécessite la présence :

- d'un Gynécologue Obstétricien(GO) ;
- d'un Infirmier Anesthésiste Diplômé d'État (IADE) ;
- d'une Sage-Femme (SF) ;
- d'une Sage-Femme de Bloc (SFBO) ;
- d'un Infirmier de Bloc (IBO).

Si la Sage-Femme de Bloc et l'Infirmier de Bloc ne sont pas tous les deux disponibles, alors ce sera en fonction de leur disponibilité, l'une ou l'autre qui complètera l'équipe.

Nous donnons deux exemples : le premier ne tient pas compte des notions de secteurs et des règles de gestion (exemple 1), tandis que le deuxième les prend en considération (exemple 2).

Exemple 1 : Composition des équipes pour une activité de césarienne sans prise en compte des notions de secteurs et des règles de gestion.

Dans ce premier exemple, l'activité de césarienne pourra donc être prise en charge, au choix, par trois équipes distinctes : l'équipe complète, l'équipe sans la Sage-Femme de Bloc (SFBO) ou l'équipe sans l'infirmier de Bloc (IBO). Le logigramme de la Figure 2-4 donne les différentes étapes aboutissant à la combinaison des trois équipes pouvant prendre en charge cette activité. Le temps d'exécution de l'activité pourra varier en fonction de la composition de l'équipe qui la réalise. Nous considérons que la salle dédiée à la césarienne est disponible.

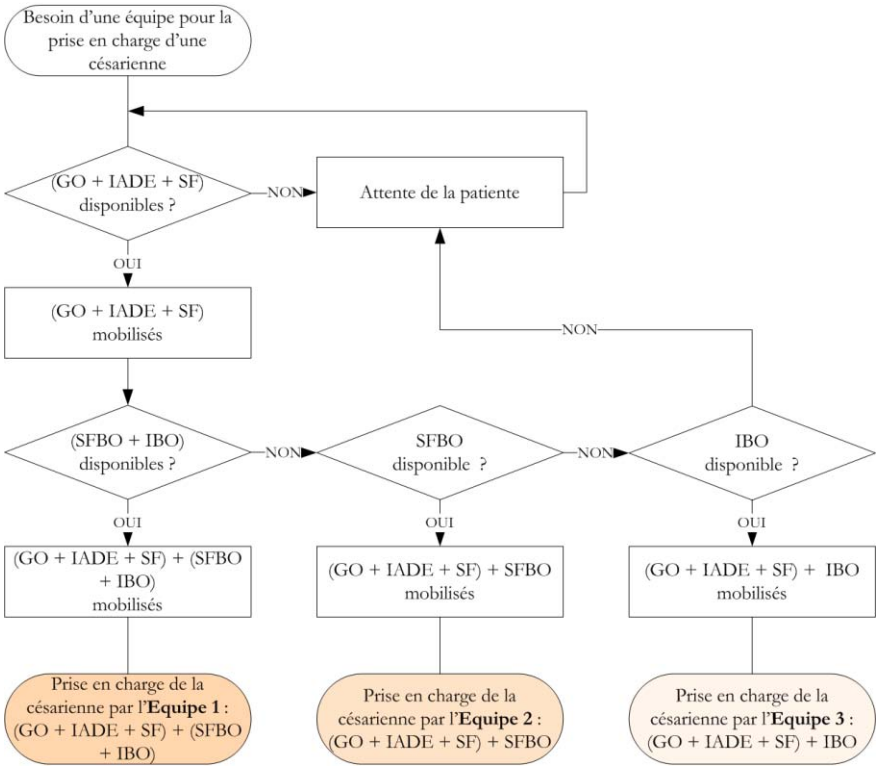


Figure 2-4. Combinaison des équipes pouvant prendre en charge l'activité de césarienne sans prise en compte des secteurs et règles de gestion (exemple 1)

Exemple 2 : Composition des équipes pour une activité de césarienne avec prise en compte des notions de secteurs et des règles de gestion.

Dans cet exemple, nous gardons la même activité (césarienne) mais en intégrant les notions de secteurs et de règles de gestion. Nous considérons que l'activité de césarienne se déroule dans un bloc obstétrical découpé en trois secteurs qui forment une partition :

- le secteur 1 (S_1) correspond aux salles de consultation en urgence ;
- le secteur 2 (S_2) correspond aux salles d'accouchement voie basse ;
- le secteur 3 (S_3) correspond aux salles d'opération, principalement dédiées aux césariennes.

L'activité de césarienne se déroule dans le secteur 3 (S_3). Chaque ressource humaine du bloc obstétrical est affectée à un ou plusieurs secteurs, selon les règles données par la Figure 2-5.

Afin de limiter la complexité de l'exemple que nous présentons, nous considérons qu'il n'y a qu'une seule ressource par fonction (médecin, infirmier….) et affectation (une seule sage-femme en secteur 1, une seule en secteur 2 et une seule en secteur 3).

Nous choisissons également de ne tester que les deux règles de gestion que nous avons pris comme exemple dans la définition 3 (règles n°1a et n°1b). Nous considérons que le secteur 2 est plus proche du secteur 3 que le secteur 1.

Le logigramme de la Figure 2-6 donne les différentes étapes aboutissant à la combinaison des équipes pouvant prendre en charge l'activité.

Si la règle de gestion n°1a est en vigueur (*les ressources humaines interviennent uniquement dans le(s) secteur(s) ou elles sont affectées*), nous retrouvons la combinaison de trois équipes possibles de la Figure 2-4, la Sage-Femme intégrant les équipes étant obligatoirement celle qui est affectée au secteur 3 (SF-S_3).

A l'inverse, si la règle de gestion n°1b est appliquée (*les ressources humaines interviennent prioritairement dans le(s) secteur(s) ou elles sont affectées. Elles peuvent intervenir, si besoin, dans les secteurs voisins, par ordre de proximité*), alors la combinaison est composée de neuf équipes distinctes pouvant prendre en charge l'activité de césarienne.

Les problématiques liées à la prise en charge de l'activité par les ressources humaines permettent d'expliquer en grande partie la complexité systémique du domaine des systèmes hospitaliers. Dans l'exemple 2, le découpage du système étudié est limité à trois secteurs et seule la sage-femme qui intègre l'équipe prenant en charge l'activité peut être affectée à chacun des trois secteurs. Nous verrons dans les systèmes que nous étudierons dans la deuxième partie de cette thèse que le nombre de secteurs peut être beaucoup plus important (par exemple dans les unités de soins), inclure des zones de recouvrement (un même endroit appartenant à plusieurs secteurs) avec des règles de gestion multiples.

Une fois de plus, ces spécificités posent des problèmes nouveaux et difficiles pour lesquels, comme nous le verrons dans l'état de l'art, nous n'avons pas trouvé de réponses satisfaisantes dans la littérature.

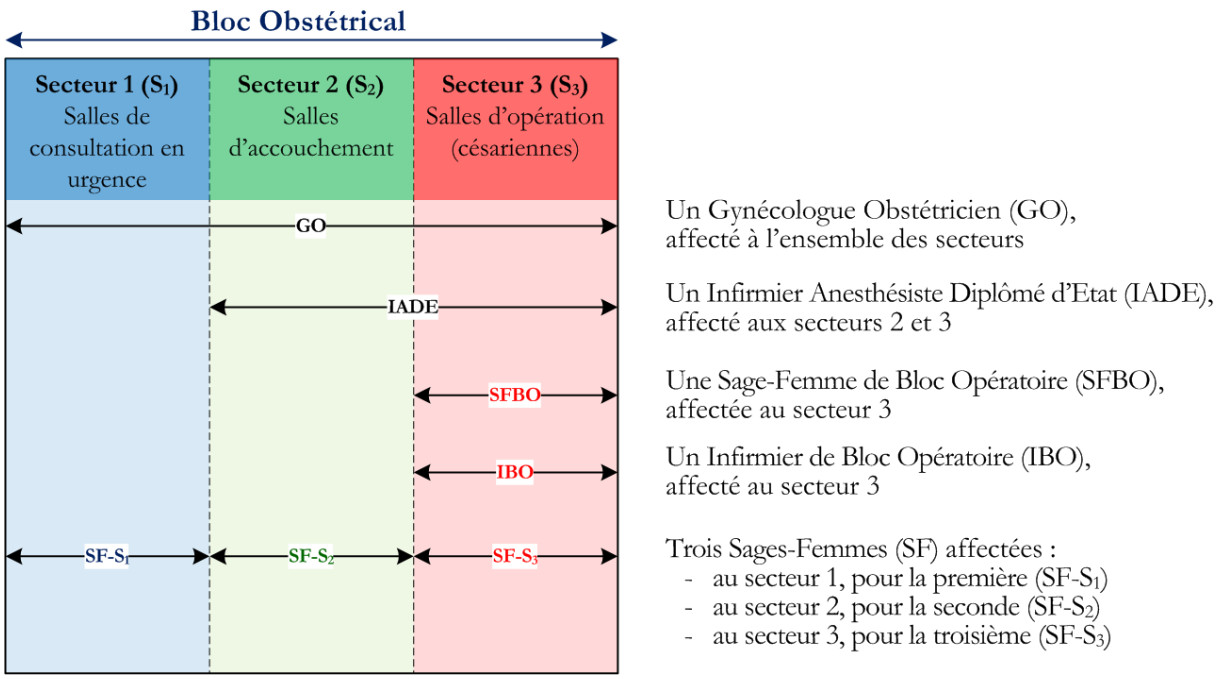


Figure 2-5. Règles d'affectation des ressources humaines aux secteurs

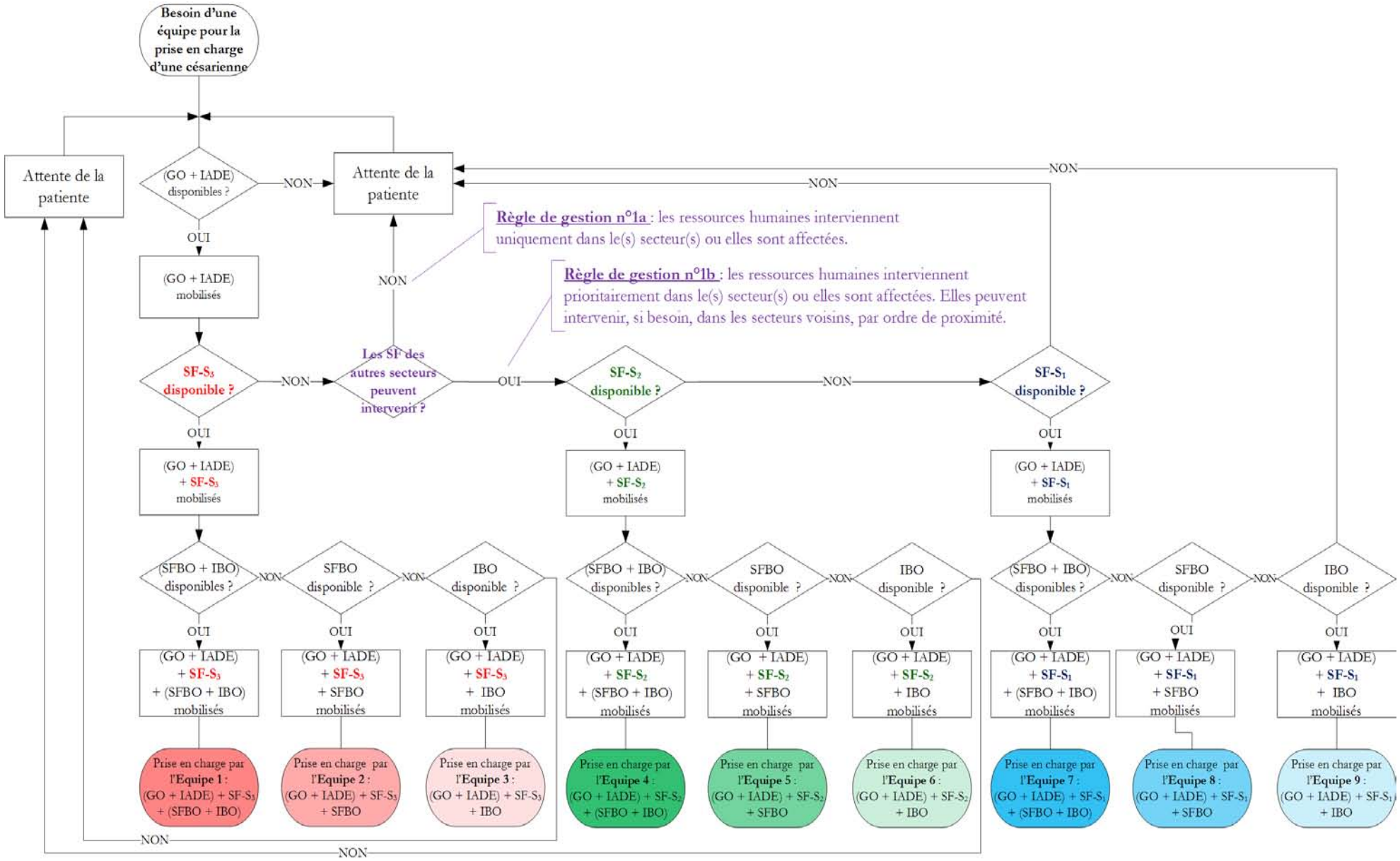


Figure 2-6. Combinaison des équipes pour l'activité de césarienne avec prise en compte des secteurs et règles de gestion (exemple 2)

5. Problématiques et complexité des systèmes hospitaliers

Dans cette section, nous étudions les principales problématiques rencontrées sur le domaine des systèmes hospitaliers que nous classons selon les horizons temporels et niveaux de modélisation. Nous définissons ensuite, dans la deuxième sous-section, les principaux indicateurs de performance permettant de répondre à ces problématiques. Dans une dernière sous-section, nous nous intéressons à la complexité des systèmes étudiés.

5.1. Les problématiques des systèmes hospitaliers

Selon l'horizon temporel auquel nous nous situons, le niveau de modélisation que nous choisissons, mais également et surtout selon les objectifs du travail réalisé, les problématiques rencontrées pour les systèmes hospitaliers sont différentes.

De manière globale, pour tout système, on peut citer trois principaux objectifs :

- **Concevoir** ou adapter le système en *dimensionnant* les entités et les flux le traversant ;
- **Configurer** le système en *planifiant* les flux, les activités et les ressources ;
- **Piloter** le système en *évaluant* ses performances afin de pouvoir *ajuster* et *optimiser* son fonctionnement.

Ces objectifs sous entendent la résolution de problèmes d'évaluation de la performance et d'optimisation des systèmes.

En nous inspirant des travaux du LIMOS (Chabrol and Sarramia, 2001; Chabrol *et al.*, 2006a), nous classons ces différentes problématiques selon les horizons temporels stratégique, tactique et opérationnel définis par (Ballou, 1992) et selon les différents niveaux de modélisation macroscopique, mesoscopique et microscopique (Tableau 2-3).

La modélisation de tout se système peut ainsi se faire selon différents niveau d'agrégation :

- Le niveau **macroscopique** désigne le niveau d'observation supérieur (agrégation élevée). Du grec « grand » et « examiner », l'adjectif macroscopique est également employé comme l'opposé de microscopique en désignant ce qui est visible à l'œil nu, sans loupe ni microscope. Au niveau macroscopique, le système est appréhendé dans sa globalité, l'ensemble des patients forment un tout, de même que l'ensemble des ressources humaines ou matérielles. L'activité est également fortement agrégée. Une modélisation macroscopique est généralement utilisée pour résoudre des problèmes de planification stratégiques voire tactiques (Canon, Billaut, and Bouquard, 2004; Mulholland, Abrahamse, and Bahl, 2005; Kharraja, Albert, and Chaabane, 2006; Gupta, 2007) .
- A l'inverse, au niveau **microscopique**, chaque élément est considéré dans son individualité comme entité atomique, c'est-à-dire indécomposable. Une modélisation microscopique peut également être utilisée pour résoudre des problèmes de planification mais le plus souvent au niveau tactique et opérationnel (Chern, Chien, and Chen, 2008; Pham and Klinkert, 2008). Ce niveau de modélisation sera nécessaire, notamment pour la simulation, si l'on souhaite agir sur le comportement de chaque entité de manière individualisée (ex : affectation d'une ressource à un planning ou à une zone géographique particulière) et si l'on veut obtenir des résultats au niveau le plus fin (ex : temps d'occupation de chaque ressource, détail des ressources affectées à chaque activité…).
- Étape intermédiaire, le niveau **mesoscopique** permet de regrouper une à plusieurs entités individuelles ayant certaines caractéristiques communes et représentant un sous-groupe de la vue macroscopique. Comme nous le verrons par la suite, ce niveau de modélisation est le plus fréquent pour l'étude des systèmes hospitaliers. Il est fréquemment utilisé pour

résoudre des problèmes de planification au niveau tactique et opérationnel (Fei *et al.*, 2006; Denton, Viapiano, and Vogl, 2007; Troy and Rosenberg, 2009), mais également, de manière plus générale, pour l'évaluation de la performance des systèmes (Altinel and Ulas, 1996; Bretthauer and Côté, 1998; Gibson, 2007).

Nous donnons dans le Tableau 2-2 les différentes vues de modélisation pour les principales entités d'un système hospitalier. Nous identifions ces principales entités comme étant les ressources matérielles, les ressources humaines, les patients et les activités.

	Macroscopique (Ma)	**Mesoscopique (Me)**	**Microscopique (Mi)**
Ressources Matérielles	Les ressources matérielles sont regroupées dans un seul ensemble.	Les ressources matérielles sont regroupées en sous-ensembles. Ex : les chambres….	Chaque ressource matérielle est considérée dans son individualité. Ex : le lit 1 de la chambre 1…
Ressources Humaines	Les ressources humaines forment un tout sans distinction.	Les ressources humaines sont regroupées en sous-ensembles. Ex : les médecins, les infirmières…	Chaque ressource humaine est considérée dans son individualité et avec ses spécificités. Ex : le médecin n°1…
Patients	Un seul type de patient est modélisé.	Les patients de même caractéristiques (pathologie, traitement…) sont regroupés en sous ensembles.	Chaque patient est modélisé (attributs, comportement…)
Activités	Une activité est vue dans sa globalité.	Une activité globale est décomposée en ensembles de traitements élémentaires. L'ensemble des spécificités de l'activité ne sont pas prises en compte	Une activité est décomposée au niveau le plus fin en traitements élémentaires. L'ensemble des spécificités de l'activité peuvent être considérées (priorité…).

Tableau 2-2. Les différents niveaux de modélisation des principales entités d'un système

Aux niveaux stratégique et tactique, les problématiques identifiées se retrouvent pour un système à concevoir comme pour un système existant. Si l'on prend comme exemple un bloc opératoire : au niveau macroscopique, on cherchera à déterminer le nombre de salles d'opération à construire pour un système à concevoir, alors qu'on déterminera le nombre de salles d'opération à ouvrir pour un système existant. Nous donnons dans le Tableau 2-3 des exemples de problématiques pour les systèmes que nous avons choisi d'étudier. Ce tableau, que nous appelons matrice 3x3, nous servira de fil conducteur tout au long de notre mémoire de thèse.

		MACROSCOPIQUE	MESOSCOPIQUE	MICROSCOPIQUE
		Vue Globale	**Vue Processus**	**Vue Activité**
STRATÉGIQUE (> 1 an)	**Concevoir**	**Dimensionner le système** *Ex* : Définir la quantité à prévoir : - de salles d'opération ; - de salles de soins ; - de chambres…	**Dimensionner les processus** *Ex* : Définir les processus de prise en charge du patient : - au bloc opératoire ; - dans le service des urgences ; - entre les différentes unités de la structure ; - en unité de soins…	**Dimensionner les activités** *Ex* : Définir la composition de chaque activité : - quantité et type(s) de ressource(s) matérielle(s) ; - quantité et type(s) de ressource(s) humaines(s) ; - différents paramètres…
TACTIQUE (semaine/mois)	**Configurer**	**Planifier les flux du système** *Ex* : Déterminer les différents flux traversant le système : - origine(s) ; - destination(s) ; - caractéristiques…	**Planifier les processus** *Ex* : Déterminer les ressources nécessaires aux processus : - processus opératoire ; - prise en charge des urgences ; - transport des patients…	**Planifier les activités** *Ex* : Déterminer les ressources nécessaires aux activités : - intervention chirurgicale ; - installation du patient sur un brancard ; - consultation…
OPÉRATIONNEL (jour/semaine)	**Piloter**	**Évaluer et ajuster le système** *Ex* : Adapter les flux aux aléas : - fermeture temporaire d'un établissement voisin ; - prise en charge exceptionnel des flux patients d'un autre service…	**Évaluer et ajuster les processus** *Ex :* Adapter les processus aux aléas : - modification de la planification opératoire ; - modification du traitement du patient aux urgences…	**Évaluer et ajuster les activités** *Ex :* Adapter les activités aux aléas - ajustement des ressources prenant en charge l'activité ; - modification des plannings journaliers des ressources...

Tableau 2-3. Principales problématiques rencontrées selon les horizons temporels et niveaux de modélisation

Quel que soit le système étudié dans le domaine des systèmes hospitaliers, voire plus généralement dans celui de la production de biens et de services, on retrouve des problématiques relativement similaires. Pour répondre à ces problématiques, les managers hospitaliers doivent disposer d'un ensemble d'indicateurs de performance. Nous présentons les principaux dans les paragraphes suivants.

5.2. Les indicateurs de performance pour les systèmes hospitaliers

Le choix des indicateurs permet de préciser les objectifs de la modélisation et leur évaluation répond aux problématiques. Leur mise en forme et leur suivi dans un tableau de bord amènera à vérifier que l'on est bien en train de faire ce que l'on souhaite faire et à développer les plans d'action nécessaires pour réduire les éventuels écarts.

Nous reprenons les définitions de (Cérutti and Gattino, 1992) :

- *« Un indicateur est une donnée objective qui décrit une situation du strict point de vue quantitatif ».*
- *« Le tableau de bord est un outil de synthèse et de visualisation des situations décrites et des constats effectués par les indicateurs ».*

Comme le remarquent (Brunelle and Saucier, 1999), pour mieux cerner un phénomène, l'utilisation de plusieurs indicateurs est essentielle. C'est d'ailleurs pourquoi des échelles ou des indices regroupent et cumulent, dans certains cas, les observations faites à partir de plusieurs indicateurs. Pris isolément, un indicateur devient réducteur et peut progressivement nous faire tomber dans le piège signalé dès 1975 par Cyert (dans (Keeler *et al.*, 1992)).

> *« The first step is to measure whatever can be easily measured. This is okay as far as it goes.*
> *The second step is to disregard that which can't be measured easily or give it an arbitrary quantitative value. This is artificial and misleading.*
> *The third step is to presume that what can't be measured easily is not very important. This is blindness.*
> *The fourth step is to say that what can't be easily measured really doesn't exist. This is suicide. »*

Dans (Baubeau and Pereira, 2004), les auteurs insistent sur le caractère multidimensionnel du concept de mesure de la performance dans le système de santé et sur la nécessité de s'attacher, dans un champ déterminé, à expliciter les dimensions retenues pour la mesure (qualité des soins et efficacité économique par exemple) avant de définir des indicateurs reflétant ces dimensions.

Dans le domaine de la santé, depuis les travaux pionniers de Donabedian (Donadebian, 1980), on distingue :

- Les indicateurs de structure qui représentent les moyens humains, les équipements et les ressources financières nécessaires à la prise en charge des patients (ex : équivalent temps plein de personnel par activité).
- Les indicateurs de processus qui renseignent principalement sur les pratiques professionnelles appliquées au cours de la prise en charge du patient ainsi que sur les modalités de fonctionnement et de coordination des secteurs d'activité concernés (ex : délai d'obtention d'un rendez-vous).
- Les indicateurs de résultats intermédiaires qui mesurent l'activité et la qualité des différentes étapes du processus de soins (taux de césariennes, taux de vaccination).
- Les indicateurs de résultats finaux en termes de santé qui traduisent un changement de l'état de santé des patients (taux de mortalité).
- Les indicateurs de satisfaction des patients.

Les travaux sur les indicateurs de performance pour les systèmes hospitaliers sont nombreux, aussi bien en France qu'à l'étranger (Li and Benton, 1996; Hurst and Jee-Hughes, 2001; Baubeau and Pereira, 2004; Champagne and Guisset, 2005; Besombes *et al.*, 2006; Bonvoisin *et al.*, 2007).

Nous proposons de définir les principaux indicateurs permettant de répondre aux problématiques précédemment définies : concevoir, configurer, piloter. Dans le Tableau 2-4 nous donnons un ensemble d'indicateurs de performance permettant de répondre à ces objectifs. Nous spécifions pour chacun sa représentation statistique ainsi que son niveau de détail (G : global, T : par type (d'activité de ressource ou de patient), E : par élément (activité, ressource, patient)). Le choix des indicateurs dépendra ensuite des objectifs précis que l'on se fixe pour chaque système, mais également des informations disponibles pour leur calcul.

	Représentation statistique	**Niveau de détail**
Concevoir → Dimensionner		
Volume d'activité		
Indicateurs 1 : Σ activités/ durées d'activité prévues	Valeur absolue	G, T
Indicateur 2 : durée moyenne des activités prévues	Moyenne	G, T
Volume des ressources		
Indicateurs 1 : Σ ressources/temps de présence des ressources	Valeur absolue	G, T
Indicateur 2 : temps de présence moyen des ressources	Moyenne	G, T
Volume des patients		
Indicateur 1 : Σ patients	Valeur absolue	G, T
Configurer → Planifier		
Planification de l'activité et des ressources		
Indicateurs 1 : Σ activités/durées d'activité par semaine	Valeur absolue	G, T, E
Indicateurs 2 : nombre minimum, maximum et moyen d'activités/durées d'activité par semaine	Valeur absolue/ Moyenne	G, T
Indicateurs 3 : Σ activités/durées d'activité par ressource	Valeur absolue	G, T, E
Indicateurs 4 : durée minimum, maximum et moyenne des activités/durées d'activité par ressource	Valeur absolue/ Moyenne	G, T
Planification des patients		
Indicateur 1 : Σ patients par semaine	Valeur absolue	G, T
Indicateurs 2 : nombre minimum, maximum et moyen de patients par semaine	Valeur absolue/ Moyenne	G, T
Piloter → Évaluer et ajuster		
Occupation des ressources		
Indicateurs 1 : $\frac{\Sigma \text{ temps en activité par jour/semaine}}{\Sigma \text{ temps de fonctionnement par jour/semaine}}$	Taux moyen	G, T
Indicateur 2 : Suivi de l'occupation des ressources	Valeur absolue	T, E
Indicateur 3 : Ressource(s) mobilisées pour chaque activité	Valeur absolue	T, E
Indicateurs 4 : temps minimum, maximum et moyen de dépassement des plannings par jour/semaine	Valeur absolue/ Moyenne	T, E
Suivi de l'activité		

Indicateurs 1 : $\frac{\Sigma \text{ activités réalisées par jour/semaine}}{\Sigma \text{ activités initialement prévues par jour/semaine}}$	Taux moyen	G, T
Indicateurs 2 : $\frac{\Sigma \text{ activités réalisées en retard par jour/semaine}}{\Sigma \text{ activités réalisées par jour/semaine}}$	Taux moyen	G, T
Indicateurs 3 : nombre/temps minimum, maximum et moyen de retard par jour/semaine	Valeur absolue/ Moyenne	G, T, E
Indicateur 4 : ordonnancement des activités	Valeur absolue	T, E
Prise en charge des patients		
Indicateur 1 : Σ temps passés par les patients dans le système	Valeur absolue	G, T, E
Indicateur 2 : Σ temps d'attente cumulé pour les patient	Valeur absolue	G, T, E
Indicateur 3 : $\frac{\Sigma \text{ temps d'attente par type d'attente*}}{\Sigma \text{ temps d'attente dans le système}}$	Taux moyen	G, T, E
Indicateur 4 : $\frac{\Sigma \text{ temps de prise en charge pour du soin}}{\Sigma \text{ temps passé dans le système}}$	Taux moyen	G, T, E
** type d'attente : attente de ressource humaine, de ressource matérielle…*		

G : global, T : par type (d'activité de ressource ou de patient), E : par élément (activité, ressource, patient)

Tableau 2-4. Proposition d'indicateurs de performance

5.3. La complexité des systèmes hospitaliers

Les systèmes hospitaliers sont des systèmes discrets composés de ressources dont l'objectif est la production ou la transformation d'un bien ou d'un service (prise en charge d'un patient, décontamination du matériel…).

Ces systèmes sont complexes et peuvent présenter différentes complexités :

- Une complexité systémique (structurelle et fonctionnelle) qui se traduit par la difficulté d'évaluer de manière simple le ou les critères de performance.
- Une complexité algorithmique qui, par abus de langage, désigne la complexité des problèmes d'optimisation combinatoire à résoudre qui sont en général NP-Complets. Elle se traduit par la recherche d'une solution qui optimise un ou plusieurs critères de performance.
- Une double complexité : systémique et algorithmique.

5.3.1. Complexité systémique

La complexité systémique, également appelée complexité structurelle et fonctionnelle est liée à la nature même du système et à l'ensemble des règles de gestion qui le régissent. Cette complexité dépend avant tout du niveau de modélisation auquel on se situe. Plus on va vers une modélisation microscopique et donc détaillée du système, plus on risque d'être confronté à sa complexité.

Si nous prenons pour exemple le processus opératoire, au niveau macroscopique, le cheminement général d'un patient dans un bloc opératoire équipé de deux salles d'opération et d'une salle de réveil est relativement simple : le patient est pris en charge en salle d'opération avant éventuellement de passer par la salle de réveil. A un niveau de modélisation plus détaillé, chacune des étapes va être découpée en sous-étapes et l'ensemble des ressources humaines et matérielles vont être considérées, ce qui rend la modélisation plus « fine » mais moins « évidente ».

La complexité structurelle et fonctionnelle des systèmes hospitaliers est très étroitement liée à la nature même de ces systèmes et en particulier à la prédominance du facteur humain. Ce facteur se retrouve à travers le patient, qui représente « le client » du système, mais également, comme nous l'avons vu, à travers les nombreuses ressources humaines qui agissent sur ce patient. Pour faire face à cette complexité, les méthodes et outils les plus fréquemment utilisés visent à évaluer la performance du système à l'aide, par exemple, de modèles analytiques, de modèles markoviens ou de modèles de simulation à événements discrets.

5.3.2. Complexité algorithmique

Les problèmes d'optimisation correspondent le plus souvent à des problèmes NP–Complets pour lesquels les méthodes exactes ne permettent pas d'apporter en un temps satisfaisant une réponse. Il est alors nécessaire de proposer des méthodes approchées.

5.3.3. Double complexité

La résolution des problèmes liés à la double complexité repose sur le couplage ou le chaînage entre les modèles d'évaluation des performances et les méthodes d'optimisation (figure 2-7).

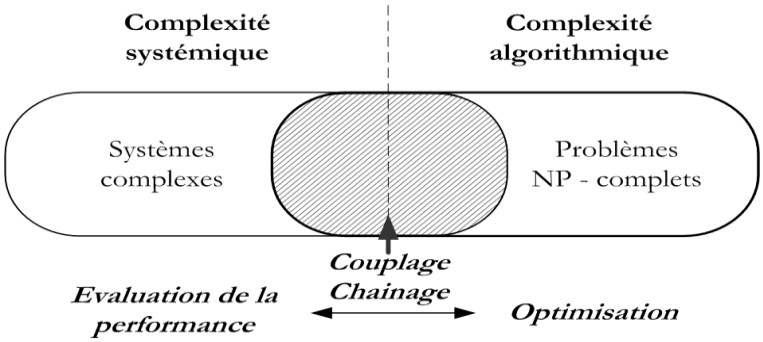


Figure 2-7. La double complexité

Nous citons les travaux de (Norre, 2006) qui a synthétisé les travaux de notre équipe de recherche au LIMOS dans ce domaine et qui définit :

- un chaînage de deux méthodes M1 et M2, comme l'application successive de deux méthodes : le résultat produit par M1 est fourni en entrée de M2 (sous réserve que M2 nécessite une ou plusieurs solutions initiales).
- un couplage de deux méthodes M1 et M2, comme la mise en œuvre de la méthode M2 dans la méthode M1.

A titre d'exemple, nous pouvons citer le cas où M1 désigne une métaheuristique et M2 une heuristique. Un couplage de ces deux méthodes peut consister à mettre en œuvre la méthode M2 à chaque itération de la méthode M1 afin d'améliorer la solution proposée par M1.

La résolution des problèmes liés à la double complexité repose sur le couplage entre ces méthodes d'optimisation et les modèles d'évaluation des performances (modèle de simulation déterministe ou stochastique, modèle markovien). Ce couplage est illustré par la Figure 2-8 sur laquelle le module 1 désigne une méthode d'optimisation et le module 2 un modèle d'évaluation des performances ou vice versa. Le principe de ce couplage peut être résumé par le processus itératif suivant :

- le module 1 envoie une demande au module 2,
- le module 2 retourne une réponse au module 1,

- en fonction de la réponse du module 2, le module 1 prend une décision et formule une nouvelle demande au module 2.

Différents types de couplages sont distingués selon que les modules 1 et 2 représentent une méthode d'optimisation ou un modèle d'évaluation des performances.

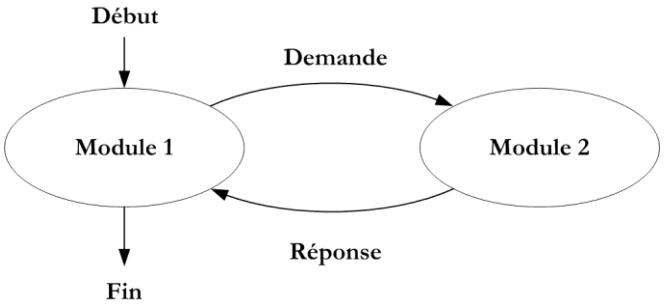


Figure 2-8. Principe du couplage méthode d'optimisation – modèle d'évaluation des performances

Exemple : la Figure 2-9 donne deux exemples de chaînages et couplages réalisés pour répondre à nos problématiques et qui seront présentés dans la deuxième partie.

Le premier exemple montre le chaînage des heuristiques à un modèle de simulation pour les problèmes de dimensionnement et de planification de l'activité opératoire. Le modèle de simulation est ensuite couplé avec des métaheuristiques pour optimiser l'ordonnancement initial donné par les heuristiques. Chaque nouvel ordonnancement proposé par les métaheuristiques est évalué à l'aide du modèle de simulation puis renvoyé vers les métaheuristiques pour une nouvelle optimisation. Le deuxième exemple montre le chaînage entre un algorithme d'optimisation (algorithme de Dijkstra) permettant le calcul du chemin le plus court et un modèle de simulation, indispensable à l'évaluation de la performance pour un service de brancardage.

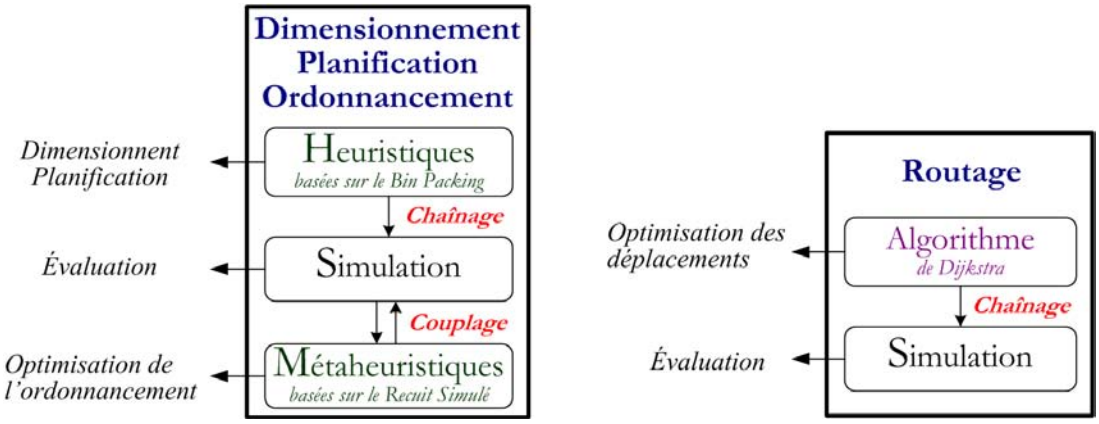


Figure 2-9. Chaînages et couplages entre évaluation de la performance et optimisation

D'autres couplages ou chaînage peuvent être mis en œuvre sur les différents systèmes que nous étudions comme par exemple un couplage entre un modèle de simulation et des heuristiques et/ou métaheuristiques pour la constitution des plannings infirmiers dans un bloc obstétrical ou une unité de soins.

6. Conclusion

Face à la complexité de leurs systèmes, les managers hospitaliers ont besoin d'outils d'aide à la décision leur permettant de prendre en compte l'ensemble des spécificités des systèmes de leur

domaine et d'apporter des réponses à des niveaux différents (prise de décision stratégique, pilotage au niveau opérationnel…).

Par « managers hospitaliers », nous pensons aux personnels de direction mais également aux médecins chefs de services et aux cadres supérieurs de santé. En fonction de leur statut mais également de leur position dans la structure, leurs objectifs peuvent différer. Si nous reprenons l'exemple du bloc opératoire :

- Le directeur de l'établissement s'inquiètera principalement du nombre de salles à construire (pour un système à concevoir) ou à ouvrir. De même, il se basera essentiellement sur le coût de fonctionnement et le taux d'occupation moyen des salles d'opération pour évaluer la performance du système.
- Un chef de service se préoccupera plus généralement de la répartition des vacations opératoires entre spécialités et /ou opérateurs. Il se préoccupera davantage des temps d'attente des chirurgiens entre les interventions chirurgicales ou des conditions de prises en charge des patients.
- Le cadre supérieur de santé, garant du fonctionnement quotidien de la structure, aura pour principal objectif de veiller à l'adéquation entre les demandes d'interventions émanant des chirurgiens et les ressources disponibles pour satisfaire ces demandes. Il devra pouvoir faire varier les quantités et les plannings de ses différentes ressources pour s'adapter aux demandes et assurer le fonctionnement de son système.

Un des objectifs de notre travail est de fournir aux managers hospitaliers des outils d'aide à la décision pour répondre à leurs besoins à la fois différents mais complémentaires. Ces outils devront donc permettre d'obtenir les indicateurs nécessaires pour l'évaluation de la performance et la prise de décision.

Chaque outil devra être adapté au système étudié afin de pouvoir tenir compte de ces particularités. Toutefois, nous souhaitons que ces outils puissent également répondre aux problématiques communes, identifiées pour l'ensemble des systèmes hospitaliers. Notre domaine d'étude sera le Nouvel Hôpital d'Estaing, mais nous souhaitons développer des outils « génériques », c'est-à-dire facilement instanciables sur d'autres systèmes et d'autres établissements. Nos travaux tenteront d'unifier les démarches, méthodes et outils employés pour la modélisation des systèmes hospitaliers, l'évaluation de leur performance et leur optimisation.

Ce chapitre a présenté une typologie des systèmes hospitaliers en abordant leurs principales problématiques. Nous avons dans un premier temps défini les principaux éléments du domaine avant d'énoncer ses spécificités. Nous nous sommes intéressés aux spécificités de la prise en charge de l'activité par les ressources humaines qui font apparaître des problèmes nouveaux et difficiles. La dernière section a permis de développer les principales problématiques du domaine et d'identifier un ensemble d'indicateurs de performance permettant d'y répondre. Elle nous a permis de faire ressortir la complexité des systèmes étudiés et de conclure sur un besoin en termes de méthodes de modélisation et d'outils d'aide à la décision pour les managers hospitaliers.

Afin de pouvoir répondre aux problématiques posées tout en tenant compte des spécificités des systèmes hospitaliers et des indicateurs de performance nécessaires à la prise de décision, nous réalisons dans le chapitre suivant un état de l'art. Cet état de l'art donne un aperçu des méthodes et outils utilisés pour la modélisation des systèmes hospitaliers et la conception d'outils d'aide à la décision en vue de l'évaluation de leur performance et de leur optimisation.

Chapitre 3

État de l'Art

Sommaire

1. Introduction

Nos travaux portent sur la modélisation, la simulation et l'optimisation des flux dans les systèmes hospitaliers. Le patient, élément central de tout système hospitalier, induit des flux matériels, humains, financiers et génère de la valeur. (Dallery, 2004) propose une décomposition des flux qui traversent le système hospitalier en flux physiques, d'information et financiers (Figure 3-1). En accord avec les équipes médicales et paramédicales, nos travaux se sont concentrés sur l'activité, les ressources et les flux humains et matériels. Nous avons volontairement laissé de côté les flux informationnels et financiers ; les premiers font l'objet de nombreux travaux réalisés par les équipes informatiques des établissements faisant largement appel à des prestataires externes, tandis que les seconds sont du principal ressort des contrôleurs de gestion. Il serait nécessaire, à termes, de pouvoir étudier conjointement ces différents flux, afin de pouvoir considérer les systèmes dans toute leur dimension. Dans nos travaux, nous nous sommes particulièrement intéressés aux flux de personnes (patients et personnels) et à une partie des flux physiques, comme nous le faisons apparaître en gras sur la Figure 3-1

De nombreux auteurs mettent en corrélation ces différents flux en étudiant par exemple les flux financiers directement générés par les flux de patients (Gorunescu, McClean, and Millard, 2002; Leclercq, Bennert, and Pirson, 2003; Moedbeck *et al.*, 2004; Chabrol *et al.*, 2006a) ou par les flux de ressources nécessaires à l'activité (Charnetski, 1984; Macario *et al.*, 1995; Beliën and Demeulemeester, 2008). D'importantes recherches ont également été réalisées sur les flux d'information, et plus généralement sur les systèmes d'information hospitaliers (Jean *et al.*, 1994; Ponçon, 2000; Fieschi, 2003; Scandurra, Hägglund, and Koch, 2008).

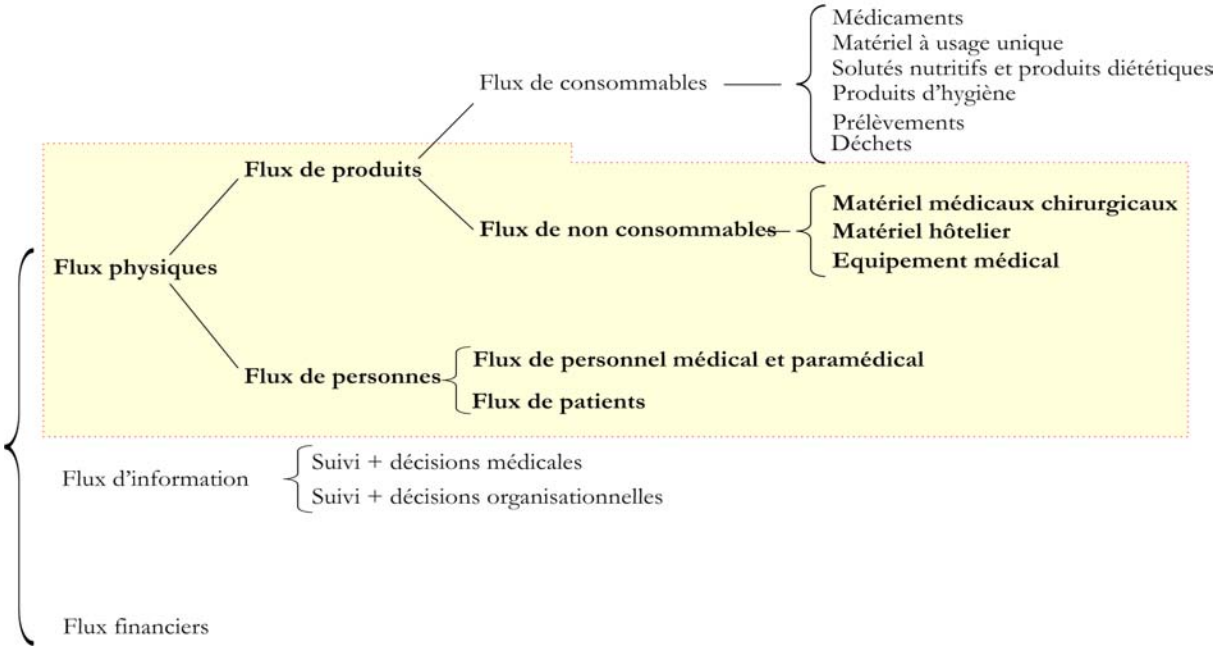


Figure 3-1. Les différents flux des systèmes hospitaliers

(Artiba and Di Martinelly, 2003) comparent l'organisation hospitalière à une Supply Chain Industrielle. Dans la suite des travaux de (Féniès, Gourgand, and Tchernev, 2004) nous avons proposé, par analogie avec la chaîne logistique (ou Supply Chain) Industrielle, de définir l'hôpital contemporain comme une Supply Chain Hospitalière (Féniès, Gourgand, and Rodier, 2006a, b; Féniès and Rodier, 2006) avec l'ensemble des flux qui la composent. Dans ce contexte, l'analyse

et la modélisation des organisations médicales pour la recherche d'une gestion adaptée à leurs modes de fonctionnement et pour la conception d'outils d'aide à la décision sont une nécessité.

Dans ce chapitre nous donnons dans la deuxième section un aperçu de la littérature sur la modélisation des systèmes hospitaliers. Nous étudions les outils et langages avant de nous intéresser au couplage entre les niveaux de modélisation et les horizons temporels. La troisième section concerne les solutions apportées pour l'évaluation et l'optimisation des systèmes hospitaliers. Nous avons choisi dans la quatrième section de nous intéresser plus particulièrement aux problématiques liées à la planification et l'ordonnancement opératoire auxquelles nous aurons à répondre dans nos travaux.

2. Modélisation des systèmes hospitaliers

Kowalsky (2006) rappelle que la modélisation est la première étape de l'aide à la décision : sans modèle, pas d'analyse possible de la situation, pas de simulation pour évaluer les solutions et pour prendre une décision. Le modèle permet de connaître les conséquences des décisions avant de les appliquer.

La modélisation est la représentation d'un système réel dans un langage approprié, par la formalisation et la capitalisation de connaissances sous une forme compréhensible et utilisable par diverses personnes ou logiciels, telle qu'elle puisse reproduire un fonctionnement ou prédire un comportement sous d'autres conditions (Claver, Geliner, and Pitt, 1997). Selon l'expression de (Kreitchmar *et al.*, 1994), l'objectif de la modélisation n'est pas de reproduire la réalité, mais plutôt de comprendre les mécanismes qui lient les causes aux phénomènes.

Dans un cadre général, la modélisation d'un système à pour objet la conception de modèles de tout ou partie de ce système pour en expliquer la structure et le fonctionnement ou pour en analyser le comportement.

Dans la pratique, les principales motivations qui justifient une étude de modélisation sont les suivantes :

- comprendre et analyser la structure et le fonctionnement du système ;
- prévoir (de manière fiable) le comportement et les performances des processus opérationnels avant leur implantation ;
- identifier les risques d'implantation à gérer ;
- justifier les choix d'implantation sur des critères liés aux ressources et aux coûts (méthodes de comptabilité par activités, par exemple) ;
- bâtir une vision commune du fonctionnement du système et pouvoir la communiquer facilement.

Nous donnons un aperçu des principaux outils et langages de modélisation utilisés pour la modélisation des systèmes avant de nous intéresser aux différents niveaux d'agrégation de la modélisation et à son couplage avec les horizons temporels stratégique, tactique et opérationnel.

2.1. Outils et langages de modélisation

Les langages de modélisation sont issus de différentes communautés scientifiques. (Chen, Vallespir, and Doumeingts, 2002) notent que depuis les premiers développements dans le domaine de la modélisation en entreprise, démarrés aux États-Unis dans les années 70, avec notamment les langages *Structured Analysis and Design Technique* (SADT), *Integration Definition for Function Modeling* (IDEFx, http://www.idef.com/)(Mayer *et al.*, 1995) et les diagrammes de flux

(*Data Flow Diagram*), de nombreux langages de modélisation d'entreprises ont été élaborés à travers le monde.

(Trilling, 2006) propose de classer les principales méthodes, méthodologies, architectures de références et cadres de modélisation en quatre catégories :

- Les **approches structurées** basées sur le principe de la décomposition descendante, modulaire, hiérarchique et structurée qui permet d'appréhender toute la complexité d'un système. Parmi les plus connues, nous pouvons citer SADT (Structured Analysis Design Technique)(Ross, 1977, 1985) et la famille des méthodes IDEFx (IDEF0, 1993; Mayer *et al.*, 1995; Kim *et al.*, 2003).
- Les **approches systémiques** focalisées sur l'interaction des systèmes et plus particulièrement sur l'analyse des flux : MERISE (Dionosi, 1993; Nanci and Espinasse, 2001), GRAI (Graphe de Résultats et Activités Interreliés) (Doumeingts, 1984; Doumeingts *et al.*, 1992; Roboam, 1993), GIM, PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture) (Williams, 1992; Rathwell and Williams, 1995), CIMOSA (CIM Open System Architecture) (CIMOSA, 1993; Berio and Vernadat, 1999), GERAM (Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology), (Bernus and Nemes, 1996; IFAC, 1999).
- Les **approches orientées processus** fondées sur l'analyse et la réorganisation des systèmes ainsi que sur les processus mis en œuvre dans l'entreprise : ARIS (Architecture of Integrated Information Systems) (Sheer, 2001), SCOR (Supply Chain Operations Reference) (SCC, 2003), MECI (Modélisation d'Entreprise pour la Conception Intégrée)(Pourcel and Gourc, 2002), BPMN (Business Process Management Notation)(Rojo *et al.*, 2008).
- Les **approches orientées objet** : OMT (Object Modeling Technique)(Rumbaugh *et al.*, 1991), OOD (Oriented Object Design)(Booch, 1990), OOSE (Object-Oriented Software Engineering)(Jacobson, 1991), UML (Unified Modeling Language)(Booch, Rumbaugh, and Jacobson, 1998).

Riad Megarsti (1997) réalise une étude comparative des méthodes d'analyse des systèmes de production qui l'amène aux conclusions suivantes :

- les méthodes et méthodologies de modélisation utilisées dans le domaine de gestion de production sont diverses et variées. Selon un problème étudié, une méthode peut être plus adéquate qu'une autre ;
- aucune ne couvre la totalité des aspects pris en compte dans le développement des systèmes manufacturiers (même si certaines architectures s'en rapprochent) notamment l'aspect d'acteur humain, la gestion des perturbations ;
- l'application d'une méthode sur un cas industriel est un travail de grande envergure.

(Kettinger, Teng, and Guha, 1997) présentent une étude des méthodes, techniques et outils utilisés dans le *« Business Process Re-engineering »*. Ce travail liste plusieurs techniques et outils de modélisation des processus. Il est le point de départ des travaux présentés par (Aguilar-Savén, 2004) qui donne un aperçu plus complet avec une analyse détaillée des techniques mentionnées dans cette liste. (Aguilar-Savén, 2004) conclut que la modélisation des processus métier est un domaine très documenté mais qu'il n'est ni structuré, ni classifié.

Selon (Chen, Vallespir, and Doumeingts, 2002), les principaux problèmes liés à cette situation sont :

- les difficultés (voire l'impossibilité, dans certains cas) de transformer un modèle conçu en utilisant un langage en un modèle exprimé dans un autre langage ;

- les difficultés pour une entreprise d'utiliser un outil logiciel, s'il est basé sur des langages qui sont différents de ceux adoptés par l'entreprise ;
- les difficultés pour les analystes de connaître et de comprendre tous les langages de modélisation présents sur le marché.

Devant la multitude des langages de modélisation existants, un projet de recherche (Themantic Network Project IST–2001–34229) financé par l'Union Européenne a abouti à la création d'un groupe de travail UEML visant à faciliter l'interopérabilité entre outils de modélisation d'entreprise en créant un Langage Unifié de Modélisation d'Entreprise : UEML pour Unified Enterprise Modelling Language (Vernadat, 2001; Petit and Doumeingts, 2002; Vernadat, 2002; Anaya *et al.*, 2010).

Comme nous venons de le voir à travers les différents travaux réalisés, il n'est pas facile de choisir le langage le plus efficace pour un problème spécifique. Dans le cadre du projet HRP2 (Hôpitaux Regroupement Partage Pilotage), (Trilling *et al.*, 2004) proposent de comparer les méthodes et outils d'analyse pour l'étude des systèmes hospitaliers. Si les auteurs notent que la méthode GRAI-GIM et le langage ARIS permettent chacun de réaliser des vues assez complètes des systèmes étudiés, ils identifient également de nombreuses lacunes ne leur permettant pas de préconiser une méthode ou un langage plutôt qu'un autre. Plus l'on souhaite une modélisation fine et détaillée du système, plus le choix des outils et langages permettant de considérer l'ensemble des spécificités du domaine étudié est difficile.

Dans des travaux récents (Hernandez-Matias *et al.*, 2008), énumèrent les nombreux outils et méthodes pour l'analyse et la modélisation des systèmes industriels, en montrant que si chacun apporte des solutions à plusieurs problèmes, aucune n'est suffisante pour analyser et modéliser des systèmes complexes. Nous sommes confrontés à cette même problématique avec les systèmes hospitaliers. Les approches traditionnelles sont apparues souvent trop abstraites pour être utilisées sur le domaine hospitalier ou uniquement conçues pour des problèmes spécifiques (Moreno *et al.*, 2001; Galland *et al.*, 2003).

Dans ses travaux, (Augusto, 2008) pose les bases d'un outil de modélisation et de simulation dédié aux systèmes hospitaliers. Il propose notamment de modéliser le comportement dynamique des systèmes au moyen de réseaux de Petri, qui viennent compléter une vue statique réalisée à partir de diagrammes UML, et démontre que l'utilisation d'un formalisme de modélisation simple permet de minimiser les erreurs d'incompréhension et d'accélérer la phase de collecte et de validation des données. Si ces travaux nous paraissent particulièrement intéressants, ils ne permettent pas de répondre à nos problématiques au moins pour deux points principaux :

- au niveau du manque de généricité des modèles proposés, l'auteur faisant état de l'impossibilité de réutiliser un précédent modèle dans divers hôpitaux ;
- au niveau du degré de finesse de la modélisation insuffisant pour pouvoir prendre en compte l'ensemble des spécificités définis dans le chapitre 2, notamment concernant la constitution des équipes de ressources humaines réalisant l'activité.

Afin d'illustrer nos propos, la spécification de l'exemple 2 donné dans le deuxième chapitre (composition des équipes pour une activité de césarienne avec prise en compte des notions de secteurs et des règles de gestion, Figure 2-6, p. 34) et qui aboutit à une combinaison de neuf équipes possibles pour réaliser l'activité de césarienne peut être exprimée par un réseau de Petri comme le montre la Figure 3-2.

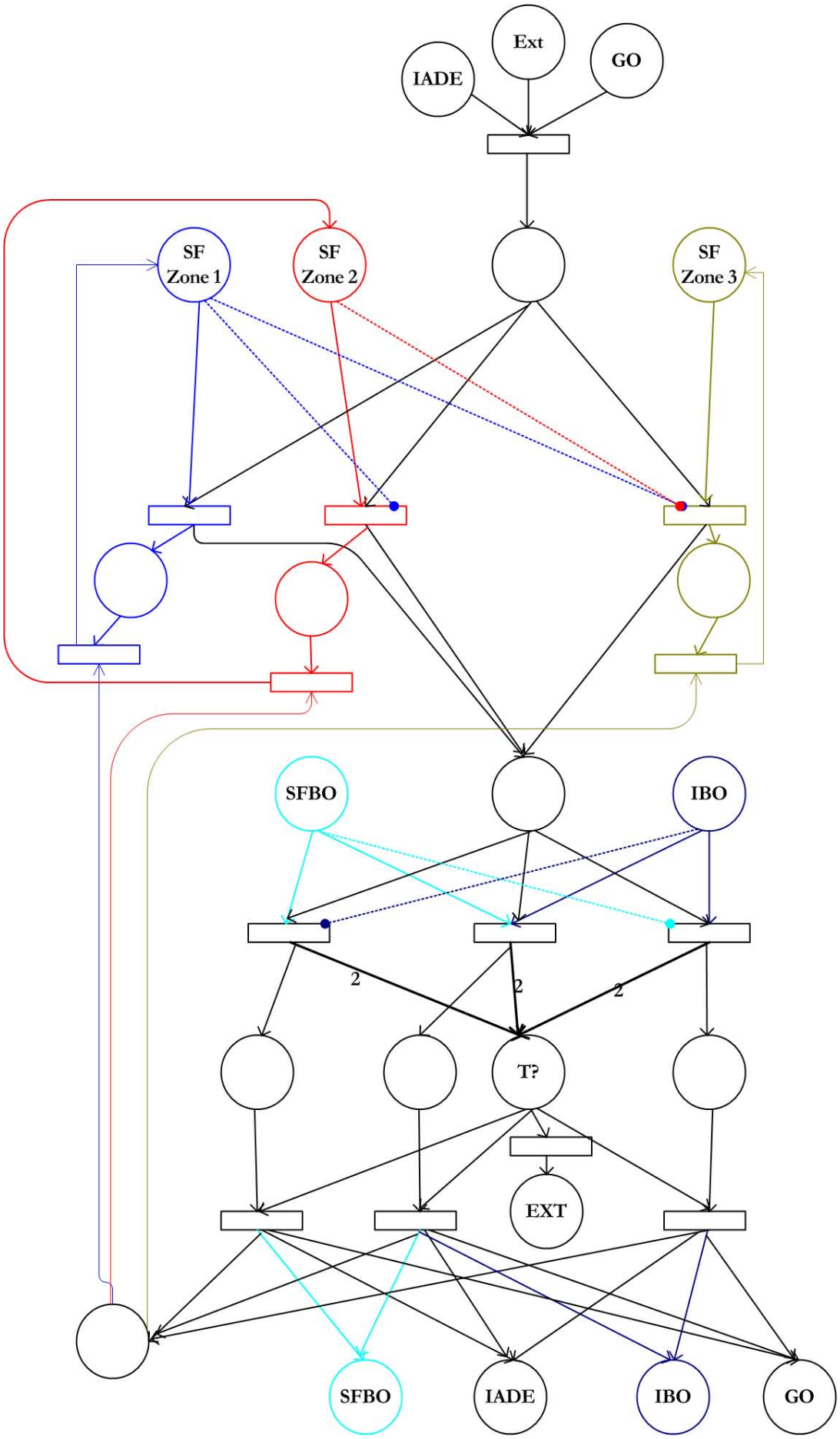


Figure 3-2. Spécification en réseau de Petri des neuf équipes possibles pour la césarienne

Si ce formalisme permet de spécifier une partie de la complexité des systèmes que nous étudions, il ne permet pas, toutefois, de communiquer facilement avec les équipes médicales et soignantes.

Synthèse et conclusion

Le recueil de l'information auprès des services nous a permis d'identifier le nombre important et la complexité des parcours patient de certains systèmes. Par parcours patient, nous entendons le cheminement du patient de son entrée dans le système à sa sortie, regroupant l'ensemble des traitements dont il bénéficie.

Cette complexité se retrouve donc à plusieurs niveaux :

- Au niveau des parcours, elle demande de pouvoir prendre en compte les parcours complexes car non linéaires et qui font appel à des probabilités et des règles de gestion propres aux parcours mais également aux traitements qui les composent;
- Au niveau de l'activité, elle nécessite une modélisation très fine et de nombreux attributs permettant de prendre en compte l'ensemble des spécificités de chaque traitement élémentaire et l'application des règles de gestion correspondantes (niveau de priorité du traitement, autorisation ou non d'interrompre un traitement…) ;
- Au niveau des ressources, et en particulier des ressources humaines, elle se retrouve dans les règles d'affectation (zones géographiques, plannings horaires…) et dans les nombreuses règles de gestion qui déterminent les conditions et possibilités d'intervention de ces ressources et de composition des équipes.

Nous n'avons pas réussi à modéliser de manière exploitable cette complexité à l'aide des langages et outils de la littérature. Comme nous venons de le voir, la formalisation en réseau de Petri permet de prendre en compte une partie de la complexité des combinaisons d'équipes et des règles de gestion. Toutefois, ce formalisme ne représente pas un support de communication exploitable pour le travail avec les équipes médicales et soignantes.

De la même manière, comme nous le verrons dans la sous-section suivante, nous n'avons pas trouvé de travaux qui utilisent un langage de modélisation pour prendre en compte l'ensemble des niveaux de modélisation et apporter des éléments de réponse selon les différents horizons temporels.

2.2. Couplage niveaux de modélisation et horizons temporels

Selon (Gourgand, 2008), quelle que soit la Supply Chain Hospitalière (SCH) étudiée, ses problèmes sont classifiés selon trois niveaux temporels :

- le niveau **stratégique**, qui correspond aux problèmes de conception et de construction du réseau de la SCH ;
- le niveau **tactique** qui correspond à l'utilisation du réseau, et à l'adéquation ressources/besoins ;
- le niveau **opérationnel** qui concerne le pilotage de la SCH à court terme.

Ces différents horizons demandent des niveaux de granularité différents pour toute étude de modélisation réalisée en vue de construire des outils d'aide à la décision.

(Chabrol *et al.*, 2006b) couplent les niveaux de modélisation avec les horizons temporels stratégique, tactique et opérationnels et proposent d'illustrer ce découpage à l'aide d'exemples de la littérature (Tableau 3-1).

	Macroscopique	Mesoscopique	Microscopique
Stratégique	**Conception globale** Ex : Conception d'une SCH. (Abouïssa *et al.*, 2003)	**Conception de processus** Ex : Conception du processus opératoire de la SCH. (Rossetti and Selandari, 2001)	**Conception d'activité** Ex : Conception de l'activité d'approvisionnement des pansements. (van Donk, 2003)
Tactique	**Configuration des flux dans le réseau** Ex : Planification des ressources en fonction des besoins pour l'ensemble de la SCH. (Brigl *et al.*, 2005)	**Configuration d'un processus** Ex : Planification des ressources en fonction des besoins pour le processus opératoire. (Artiba and Di Martinelly, 2003)	**Configuration d'une activité** Ex : Détermination des ressources nécessaires pour l'activité d'approvisionnement des pansements. (Su and Shih, 2002)
Opérationnel	**Pilotage du réseau** Ex : Gestion des interactions entre les différents aléas sur l'ensemble de la SCH. (Lanzola *et al.*, 1999)	**Pilotage d'un processus** Ex : Modification des plannings du processus opératoire en fonction des aléas (urgences…). (Doheny and Fraser, 1996)	**Pilotage d'une activité** Ex : Ajustement journalier des ressources en personnel infirmier en fonction des aléas pour l'activité d'anesthésie. (Bard and Purnomo, 2005)

Tableau 3-1. Le couplage horizons temporels et approches de modélisation

Un aperçu de la littérature, confirmé par les travaux que nous avons réalisés dans le domaine, nous ont permis de constater que la modélisation peut répondre à des objectifs s'étalant sur plusieurs horizons temporels et qu'il est quelquefois difficile, voire impossible, de fixer le même niveau de modélisation pour l'ensemble des entités d'un système. Nous détaillerons cette idée dans la prochaine section en nous intéressant en particulier aux méthodes et outils pour l'évaluation puis pour l'optimisation des systèmes hospitaliers.

3. Évaluation et optimisation des systèmes hospitaliers

Selon (Chabrol *et al.*, 2006b), les problèmes liés à la modélisation des systèmes hospitaliers interviennent lors de l'implantation d'un nouveau système (conception a priori), ainsi que lors de la réorganisation d'un système existant (conception a posteriori). Quels que soient les modèles étudiés, qu'ils s'agissent d'applications dédiées à un problème donné ou d'une méthodologie d'ensemble, la conception et le pilotage de ces systèmes consistent à déterminer la structure et les moyens qui les composent. Le nombre, la localisation, la capacité de chaque entité de soins, de prestation logistique, de stockage…composant le système. Le choix et le dimensionnement des flux à transporter sur chacun des axes reliant les unités de prestation de soins comme de stockage ainsi que les sources d'approvisionnement sont également partie intégrante de leur structure. Le choix des moyens porte sur le dimensionnement de l'équipement, l'agencement des unités de soins et des prestataires de services de support ainsi que les moyens de transport (type, mode d'exploitation, capacité) et les ressources humaines. Le manager du système hospitalier doit ainsi posséder un ensemble d'outils et de méthodes capables de l'aider dans les problèmes de conception, de configuration et pilotage. Comme nous l'avons vu lorsque nous avons abordé la complexité des systèmes hospitaliers (chapitre 2) ces outils reposent principalement sur des modèles d'évaluation de la performance, des méthodes d'optimisation et/ou sur un couplage des deux.

De nombreux travaux traitent de la modélisation, la simulation et l'optimisation des flux de patients et ont pour objectifs, par exemple, de diminuer les temps d'attente des patients,

optimiser l'utilisation des ressources, planifier et ordonnancer un ensemble d'activités, mesurer la satisfaction des patients… Nous en répertorions quelques uns dans le Tableau 3-2 qui nous paraissent représentatifs et qui nous permettent de faire un bref état des lieux des différentes méthodes issues de la recherche opérationnelle et trouvées dans la littérature pour apporter des solutions aux principales problématiques liées aux systèmes hospitaliers. Si les problématiques traitées sont nombreuses, on retrouve principalement, dans les méthodes de résolution :

- la simulation ;
- la théorie des réseaux de files d'attente ;
- la modélisation mathématique ;
- une combinaison entre plusieurs de ces méthodes.

D'autre méthodes sont également utilisées comme par exemple l'analyse statistique pour la planification des lits dans les unités de soins (Milne and Whitty, 1995; Parmanum *et al.*, 2000; Toussaint *et al.*, 2001; Gorunescu, McClean, and Millard, 2002; Nguyen *et al.*, 2005).

Comme nous l'avons vu dans la section précédente, suivant les entités considérées d'un système, on ne trouve souvent pas le même niveau de modélisation. Nous proposons de noter (pour éviter, en particulier, un tableau avec 12 colonnes)

$$[\alpha,\beta,\gamma,\delta \ / \ \{\tau\}]$$

le niveau de modélisation d'un système avec :

- α : niveau de modélisation des ressources matérielles ;
- β : niveau de modélisation des ressources humaines ;
- γ : niveau de modélisation du patient ;
- δ : niveau de modélisation de l'activité ;
- τ qui représente l'horizon ou les horizons temporels concernés (facultatif).

Les niveaux de modélisation sont représentés par Ma pour macroscopique, Me pour mesoscopique ou Mi pour microscopique. Lorsque l'entité n'est pas prise en compte, le signe $\varnothing$ est utilisé. Les abréviations S, T et O sont respectivement utilisées pour les horizons Stratégique (> 1 an), Tactique (semaines, mois) et Opérationnel (heures, jours). Lorsque cela nous a paru possible, au vu de la démarche employée ou des résultats fournis, nous avons évalué les différents niveaux de modélisation employés dans la construction des outils logiciels pour les ressources matérielles, les ressources humaines, le patient et l'activité ainsi que les horizons temporels concernés. Les références soulignées correspondent aux auteurs ayant combiné plusieurs méthodes.

Cet aperçu de la littérature sur les problématiques des systèmes hospitaliers traitées avec les méthodes et outils de la recherche opérationnelle et du génie logiciel fait apparaître que :

- quelle que soit l'entité considérée, le niveau de finesse de la modélisation ne dépasse qu'exceptionnellement le niveau mesoscopique, se contentant la plupart du temps du niveau le plus agrégé (macroscopique) pour la décomposition de l'activité ;
- les ressources matérielles sont essentiellement modélisées au niveau mesoscopique pour pouvoir tenir compte de certaines de leurs particularités ;
- les ressources humaines sont rarement prises en compte et quand elles le sont, c'est le plus souvent de manière agrégée ;
- la frontière entre les différents horizons temporels étant souvent assez floue, les travaux étudiés se situent généralement sur plusieurs horizons temporels.

Dimensionnement et/ou planification des ressources		
Simulation	(Altinel and Ulas, 1996) (Kozan and Gillingham, 1997) (Ridge *et al.*, 1998) (Kim *et al.*, 1999) (Kim *et al.*, 2000) (Troy and Rosenberg, 2009) (Combes, Meskens, and Dussauchoy, 2006)	[Me, ∅,Me,Me / T-O] [Me,Ma,Me,Mi / T-O] [Me, ∅,Me,Ma / T-O] [Me, ∅,Me,Ma / T-O] [Me, ∅,Me,Ma / T-O] [Me,Me,Me,Me./ S-T] [Me,Mi,Me,Mi./ S-T]
Théorie des réseaux de files d'attente	(Kim *et al.*, 1999) (Gorunescu, McClean, and Millard, 2002) (McManus *et al.*, 2004) (Tütüncü and Newlands, 2009)	[Me, ∅,Me,Ma / T-O] [Ma, ∅,Ma,Ma / S-T] [Ma, ∅,Ma,Ma / S-T] [Me,Me,Me,Me / S-T]
Modélisation mathématique	(McManus *et al.*, 2004) (Tütüncü and Newlands, 2009)	[Ma, ∅,Ma,Ma / S-T] [Me,Me,Me,Me / S-T]
Construction / Déménagement d'une unité de soins et incidences sur l'environnement		
Simulation	(Altinel and Ulas, 1996) (Wiinamaki and Dronzek, 2003) (Gibson, 2007) (Ashby *et al.*, 2008)	[Me, ∅,Me,Me / T-O] [Ma, ∅,Me,Me / S-T] [Me,Me,Me,Me / S-T] [Ma, ∅,Ma,Ma / S-T]
Occupation moyenne des ressources, temps d'attente moyens, niveaux d'occupation critiques		
Simulation	(Bagust, Place, and Posnett, 1999) (El-Darzi *et al.*, 1998) (Kim *et al.*, 1999)	[Me, ∅,Ma,Ma / S-T] [Me, ∅,Me,Ma / T-O] [Me, ∅,Me,Ma / T-O]
Suivi de l'occupation des ressources et des temps d'attente		
Simulation	(Gibson, 2007) (Chauvet and Gourgand, 2008)	[Me,Me,Me,Me / S-T] [Mi,Me,Me,Me / T-O]
Équilibrage de la charge, réduction des attentes		
Simulation	(Cochran and Bharti, 2006b)	[Me, ∅,Me,Ma / T-O]
Théorie des réseaux de files d'attente	(Cochran and Bharti, 2006a)	[Me, ∅,Me,Ma / T-O]
Optimisation de l'utilisation des ressources		
Simulation	(Kozan and Gillingham, 1997) (Kokangul, 2008)	[Me, ∅,Me,Mi / S-T] [Ma, ∅,Ma,Ma / S-T]
Théorie des réseaux de files d'attente	(Bretthauer and Côté, 1998)	[Me,Me,Me,Me / S-T]
Modélisation mathématique	(Bretthauer and Côté, 1998) (Akcali, Côté, and Lin, 2006) (Kokangul, 2008)	[Me,Me,Me,Me / S-T] [Ma, ∅,Ma,Ma / S-T] [Ma, ∅,Ma,Ma / S-T]
Planning infirmier		
Modélisation mathématique	(Burke *et al.*, 2008)	[Ma,Me,∅,Ma / T-O]

Tableau 3-2. Problématiques et méthodes de résolution pour les systèmes hospitaliers

Nous remarquons que la simulation à événements discrets est utilisée dans la majorité des travaux que nous avons recensés. Nous nous intéresserons donc plus particulièrement à cette méthode permettant principalement l'évaluation de la performance des systèmes hospitaliers avant de nous intéresser à leur optimisation.

3.1. L'évaluation de la performance par la simulation à événements discrets

On retrouve dans les modèles d'évaluation de la performance : les modèles de simulations, les modèles markovien ou encore analytique. Ces méthodes présentent l'avantage de pouvoir modéliser un nombre de contraintes opérationnelles assez important. Par contre, contrairement aux modèles mathématiques, elles fournissent une solution et non pas la solution optimale. « Simuler », c'est expérimenter un modèle informatique pour étudier le comportement dynamique d'un système au cours du temps au regard d'objectifs donnés.

Ces modèles de simulation peuvent être utilisés actuellement de deux manières :

- afin d'évaluer une situation donnée ;
- en vue de tester des hypothèses et de pouvoir les comparer.

On peut par exemple, dans un système hospitalier, tester l'influence de l'embauche d'une infirmière supplémentaire et si le modèle démontre que cette embauche a une influence positive et réelle sur le système, on peut alors évaluer les coûts liés à cette embauche. Dans cette optique, l'intérêt de la simulation va être double :

- elle permet l'évaluation des performances d'un système qui n'existe pas encore et qui pourra éventuellement être mis en place dans le futur ;
- elle permet l'évaluation des conséquences des décisions avant qu'elles ne soient prises.

La simulation peut si elle n'est pas concluante ne pas être mise en place sur le système réel et surtout contrairement à une expérimentation sur un système, elle ne perturbe pas le fonctionnement du système et n'est pas dangereuse si elle n'est pas probante alors qu'avec une expérimentation en réel il sera plus difficile de revenir en arrière et cela peut avoir de fâcheuses conséquences. De plus la simulation permet de réaliser plus facilement le test de plusieurs scenarii afin de voir lequel est le plus efficace et de prendre les décisions adéquates.

La littérature montre que parmi les méthodes d'évaluation de la performance, la simulation à événements discrets est majoritairement employée pour étudier les systèmes hospitaliers (Fone *et al.*, 2003; Braislford, 2007). Dans ses travaux, Royston (Royston, 1999) étudie les futurs défis et opportunités dans la modélisation et la simulation des systèmes de santé et propose de comparer l'expérience et la modélisation (Tableau 3-3).

Attribut	Expérience	Modélisation et simulation
Véracité	Souvent élevée, dans son domaine	Dépend de la logique, des éléments et des données
Calendrier	Souvent long	Peut être rapide
Coût	Souvent élevé	Peut être bas
Risque	Peut être élevé	Généralement bas
Étendue	Limitée	Élevée

Tableau 3-3. Expérience vs modélisation et simulation

Les modèles de simulation fournissent un aperçu du fonctionnement d'un système et peuvent être utilisés pour prévoir les résultats d'un changement de stratégie, de structure ou d'organisation. La simulation permet de traiter la complexité des systèmes en détail en simulant le parcours de chaque individu, puis en estimant l'effet de population de la somme des différents parcours individuels. Chaque membre de la population (entité) incluse dans un modèle de simulation est dépisté par un ensemble d'options. À chaque point de décision une série de choix est disponible. Les résultats dépendront ensuite, par exemple, des caractéristiques de l'entité et des ressources, des mouvements précédents effectués dans le modèle, ou des choix faits par les autres entités.

Ces méthodes sont indispensables quand le système est complexe et/ou l'expérimentation n'est pas possible. La difficulté consiste à concevoir des modèles suffisamment détaillés pour prendre en compte l'ensemble des spécificités des systèmes de santé mais qui permettent également d'obtenir des outils d'aide à la décision conviviaux pour les utilisateurs afin que ceux-ci puissent tester un ensemble de scenarii (modification des plannings des ressources, des affectations, des règles de gestion) et mesurer leur impact sur le système. Le principal dilemme dans un tel travail consiste à choisir le niveau de détail approprié. Un niveau de détail élevé mène à une représentation plus réaliste, qui devrait augmenter la confiance des utilisateurs. Cependant, un niveau de détail élevé exige une connaissance fine du système et des données validées.

Le niveau d'abstraction pour la simulation dépend du niveau de modélisation de la connaissance. (Sinreich and Marmor, 2004) proposent une figure avec le choix des options de simulation et les niveaux d'abstraction utilisés dans chaque cas (Figure 3-3). Nous l'adaptons et la complétons avec les niveaux de modélisation pour la formalisation de la connaissance des systèmes (Figure 3-4).

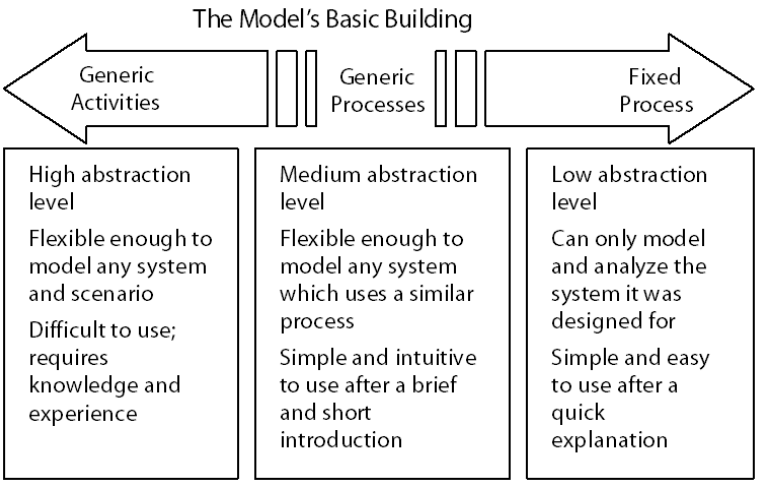


Figure 3-3. The Range of Modeling Options and the Building Blocks Used in Each Case

Dans nos travaux, qui ont pour objectif l'unification et la résolution des problèmes de modélisation et d'optimisation des systèmes hospitaliers, nous cherchons à concevoir des modèles génériques. Pour la simulation, nous nous intéresserons au niveau d'abstraction moyen afin de prendre en compte la complexité de chaque système étudié et de pouvoir l'instancier sur d'autres systèmes du domaine.

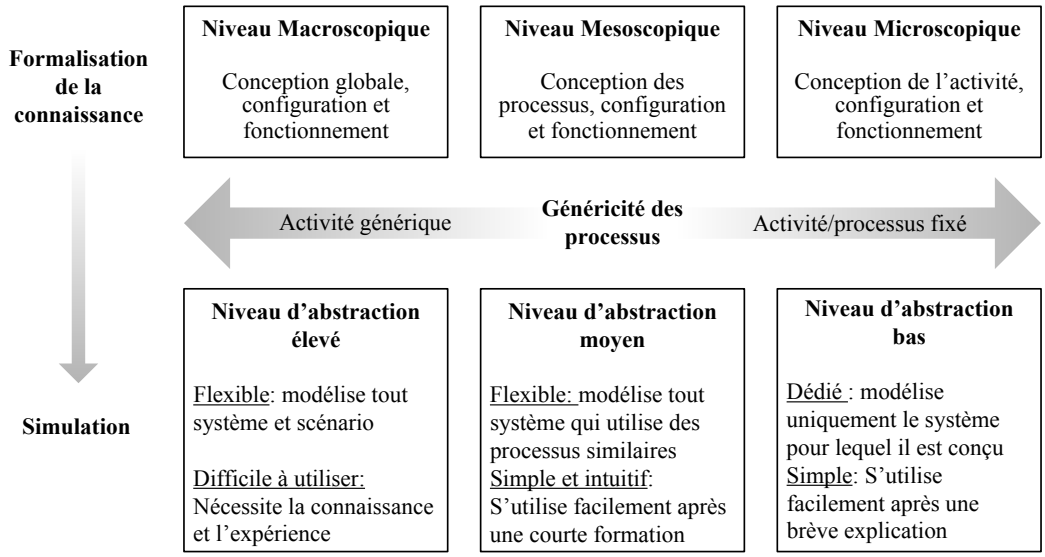


Figure 3-4. Niveaux de modélisation pour la formalisation de la connaissance et niveaux d'abstraction pour la simulation

Dans les systèmes hospitaliers, la simulation à événements discrets a été employée à plusieurs reprises comme un outil efficace pour allouer les ressources et pour améliorer le parcours des patients, tout en réduisant au minimum les coûts et en augmentant la satisfaction des patients.

(Jun, Jacobson, and Swisher, 1999) ont étudié sur une période d'une trentaine d'années, du début des années 60 à la fin des années 90, les applications de la simulation dans les systèmes de soins. Ils passent en revue 117 articles de journaux et les classent selon leurs objectifs. Leurs principaux centres d'intérêt sont l'impact des caractéristiques du patient et de la programmation des ressources sur les flux de patients et le déroulement des opérations, le suivi de la répartition des ressources telles que les lits, les salles et le personnel. Les auteurs ont également recherché des études sur des systèmes plus complexes, intégrant plusieurs types de services et ont conclu qu'il semble y avoir un manque dans la littérature pour de tels travaux. Ils donnent comme raisons principales de ce manque le niveau de la complexité mais également les besoins en données.

(Wilson, 1981) a examiné 200 projets de simulation dans les systèmes de santé mais en a seulement trouvé 16 qui présentent une mise en pratique réussie. Les facteurs communs dans ces 16 projets comprennent au moins un auteur qui a travaillé dans l'établissement concerné, un problème de haute priorité pour cet établissement, un financement externe ou une description détaillée de collecte de données. Vingt ans après, une analyse méthodique des modèles de simulation dans les systèmes de santé (Fone *et al.*, 2003) a recensé 182 papiers publiés entre 1980 et 1999. Les auteurs ont identifié cinq grands secteurs : programmation et organisation hospitalière, infection et maladie contagieuse, coûts de santé et évaluation économique, dépistage et travaux divers. Nous nous intéressons à la programmation et l'organisation hospitalière. Ce domaine inclut 94 (52 %) des 182 articles recensés. La programmation des patients et les règles d'admission sont des sujets classiques et fréquents en modélisation. On les trouve, par exemple, dans les cas suivants : consultations externes (Stafford and Aggarwal, 1979), clinique sans prise de rendez-vous (Reilly, Marathe, and Fries, 1978), unités de soins intensifs (Kim *et al.*, 1999) et établissement de programmes opératoires (Fitzpatrick, Baker, and Dave, 1993; Dexter *et al.*, 1999; Ballard and Kuhl, 2006). (Fone *et al.*, 2003) remarquent que très peu de papiers ont signalé que les modèles avaient été mis en application. Les auteurs disent *"… we were unable to reach any conclusions on the value of modelling in health care because the evidence of implementation was so scant."* (p. 333). (Braislford, 2007) note qu'une barrière possible à la mise en œuvre est celle de la généralisation. Les auteurs modélisant des systèmes de santé soulignent également l'importance

d'un travail étroit avec les hospitaliers et les gestionnaires de ces structures, afin de gagner leur adhésion. Cette collaboration se révèle tout aussi importante lors des travaux réalisés en vue de l'optimisation de ces systèmes.

3.2. L'optimisation des systèmes hospitaliers

Classiquement, les méthodes d'optimisation proposées sont des méthodes exactes et des méthodes approchées. Si, en général, le problème à résoudre est un problème d'optimisation combinatoire formalisé mathématiquement, les méthodes de résolution sont le plus souvent des méthodes approchées. Les problèmes sont NP-Complets et la taille des instances à traiter peut être importante (comme par exemple dans le cadre du problème de dimensionnement des blocs opératoires que nous étudions dans le chapitre 9 de la deuxième partie).

Afin de trouver des solutions admissibles en un temps raisonnable, les auteurs privilégient la résolution par des méthodes approchées, que ce soit par des heuristiques « spécialisées », dédiées au problème considéré, ou par des métaheuristiques, voire, par un couplage des deux.

La Figure 3-5, issue des travaux de (Collette and Siarry, 2002) donne une classification générale des méthodes d'optimisation mono-objectif.

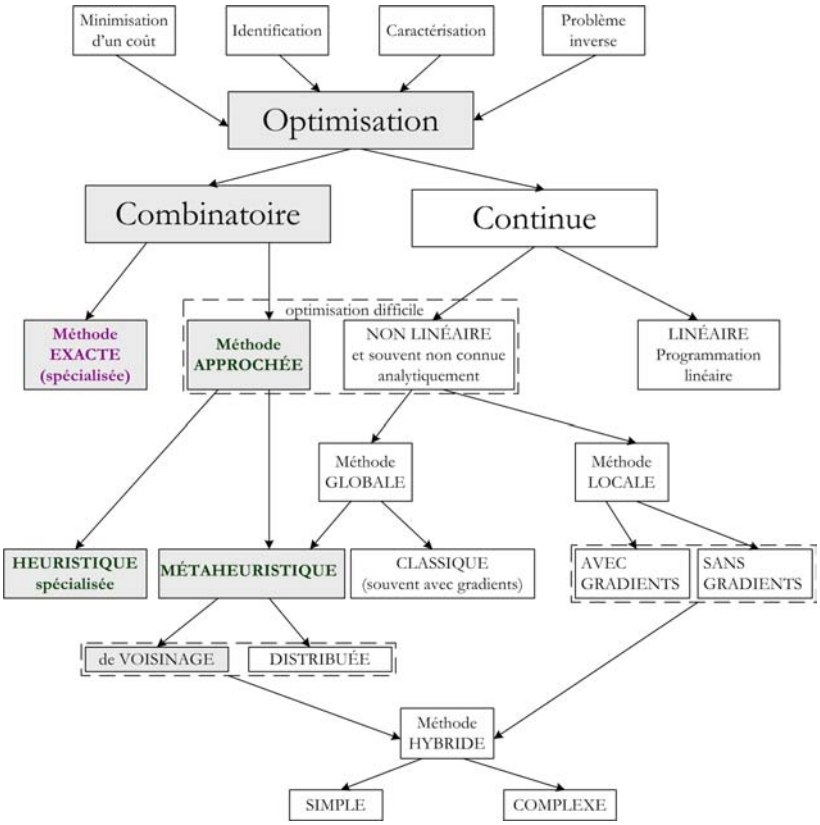


Figure 3-5. Classification générale des méthodes d'optimisation mono-objectif

- **Les heuristiques**

Les heuristiques permettent de déterminer de bonnes solutions en un temps de calcul en général faible. Elles sont dédiées à un problème précis et essaient d'exploiter au mieux les connaissances liées à celui-ci. Bien qu'en général non optimales, l'expérience montre que les solutions sont généralement de bonne qualité.

On peut distinguer deux types d'heuristiques :

- les heuristiques gloutonnes ou heuristiques de construction d'une solution,

- les heuristiques basées sur la relaxation d'un problème NP-complet en un problème polynomial.

- **Les métaheuristiques**

Apparu dans les années 80, les métaheuristiques ont une ambition commune : résoudre au mieux les problèmes d'optimisation difficile. On peut distinguer deux grands types de métaheuristiques :

- les méthodes basées sur un individu (dites à trajectoire) : elles consistent à faire évoluer une seule solution à la fois,
- les méthodes basées sur une population (dites évolutionnaires) : elles consistent à faire évoluer un ensemble de solutions simultanément.

(Dréo *et al.*, 2003) donnent un panorama plus complet sur les métaheuristiques les plus courantes et définissent les principales caractéristiques suivantes :

- elles sont, au moins pour partie, stochastiques : cette approche permet de faire face à l'explosion combinatoire des possibilités ;
- généralement d'origine discrète, elles ont l'avantage, décisif dans le cas continu, d'être directes, c'est-à-dire qu'elles ne recourent pas au calcul, souvent problématique, des gradients de la fonction objectif ;
- elles sont inspirées par des analogies : avec la physique (recuit simulé, diffusion simulée…), avec la biologie (algorithmes évolutionnaires, recherche avec tabous…) ou avec l'éthologie (colonies de fourmis, essaims particulaires…) ;
- elles partagent aussi les mêmes inconvénients : les difficultés de réglage des paramètres de la méthode et le temps de calcul élevé.

On trouve dans la littérature de nombreux travaux visant à optimiser le fonctionnement des systèmes hospitaliers. Parmi les sujets les plus fréquents, nous pouvons citer les problèmes de planification et d'ordonnancement. Nous nous intéressons plus particulièrement à cette problématique pour l'activité opératoire qui fait l'objet, comme nous le verrons dans la section 4, de nombreux travaux.

4. Planification et ordonnancement de l'activité opératoire

La planification des systèmes hospitaliers se rapporte généralement à trois niveaux hiérarchiques de décision (Roth and Van Dierdonck, 1995) correspondant aux trois horizons temporels que nous avons déjà abordé :

- Planification stratégique ou à long terme : elle permet de déterminer l'évolution de l'hôpital selon plusieurs tendances et évolutions (démographique, sociologique, technique, ...) ;
- Planification tactique ou à moyen terme : elle consiste, en établissant des prévisions sur la demande de soins, à prévoir les admissions, à estimer les besoins en ressources humaines, matérielles (dimensionnement) et financières de l'hôpital afin de satisfaire la demande ;
- Planification opérationnelle ou à court terme : elle considère les problèmes d'affectation des patients aux services et d'affectation et d'ordonnancement des ressources.

Nous distinguons :

- Le planification des ressources (Centeno *et al.*, 2003; Topaloglu, 2006; Yeh and Lin, 2007; Burke *et al.*, 2008; Fowler, Wirojanagud, and Gel, 2008) résolue respectivement à partir de la programmation linéaire, de la programmation multi-objective, d'un couplage simulation - algorithme génétique et de méthodes basées sur des heuristiques pour les deux dernières références.

- La planification de l'activité

Nous nous intéressons ici à ce deuxième point et notamment à la planification de l'activité opératoire, puisque le bloc opératoire fait partie des systèmes sur lesquels nous avons travaillé.

Nous présentons les travaux issus de la littérature avant de nous intéresser à l'offre logicielle.

4.1. Les travaux de la littérature

Le bloc opératoire, élément central de l'activité de l'hôpital, représente aussi l'un des principaux postes de dépenses (Spangler *et al.*, 2004; Denton, Viapiano, and Vogl, 2007). Ce constat résulte de l'importance des moyens humains qu'il sollicite, des investissements immobiliers et mobiliers qu'il concentre et des coûts en exploitation courante qu'il engage pour l'activité chirurgicale. Les soins qui y sont effectués et la mise en commun des ressources entre plusieurs disciplines (spécialités) en font un éventuel goulot d'étranglement. Ainsi le bloc opératoire présente un besoin essentiel de planification des ressources (humaines et matérielles) en tenant compte :

- des besoins et des contraintes des chirurgiens ;
- des besoins et contraintes des équipes d'anesthésistes ;
- de la disponibilité des infirmières ;
- du flux de patients venant des services d'urgence ;
- de l'activité de garde ;
- de la relation avec l'activité de stérilisation ;
- des procédures d'approvisionnement en matériels divers (prothèses, matériel médical à usage unique…) ;
- de l'activité de brancardage ;
- des ressources des salles de réveil …

Nous prenons comme définition de la programmation opératoire celle proposée par (Meskens and Riane, 2007) : « La programmation opératoire, appelée « wait list management » ou « surgical process management » dans la littérature anglo-saxonne, consiste à construire un planning prévisionnel des interventions chirurgicales à réaliser pendant une période, généralement une semaine, à partir des demandes émanant des services chirurgicaux et de prescripteurs externes. La programmation opératoire se décompose de deux sous problèmes séquentiels : la planification à l'avance qui consiste à affecter une date d'opération aux patients dans l'avenir et l'ordonnancement d'affectation qui consiste à déterminer l'ordre des interventions dans un bloc opératoire pour une journée ».

Une des mesures permettant une meilleure gestion du bloc opératoire consiste à chercher une solution optimale pour la planification des interventions dans la phase pré-opératoire, sur une ou plusieurs semaines voire plusieurs mois, ainsi que pour l'ordonnancement des interventions dans la phase per-opératoire, pour une journée, voire pour plusieurs jours.

On trouve une littérature abondante sur les problèmes de planification des blocs opératoires. Nous avons cherché à répertorier dans le Tableau 3-4 les principaux problèmes traités dans le domaine de la planification des blocs opératoires selon les différents horizons temporels et niveaux de modélisation employés. Cette liste, loin d'être exhaustive, est représentative des outils issus de la recherche opérationnelle et du génie logiciel.

La plupart des auteurs s'intéressent à la planification et à l'ordonnancement des interventions sur des systèmes existants mais il n'y a pas, à notre connaissance, de travaux significatifs s'intéressant au dimensionnement des salles pour un système à concevoir. Nous remarquons que les travaux

présentés sont destinés à des problèmes spécifiques et apportent des éléments de réponses ne couvrant qu'une partie des horizons temporels considérés. De plus, la taille des problèmes étudiés dans la littérature est souvent limitée. Nous n'avons trouvé que peu de travaux qui s'intéressent à des problèmes de grande taille et qui se placent au niveau stratégique. (Santibáñez, Begen, and Atkins, 2007) proposent d'utiliser un programme entier mixte pour la planification opératoire des spécialités chirurgicales au niveau stratégique. Ils considèrent la disponibilité des salles et des chirurgiens. Leur démarche permet de tester plusieurs scenarii visant à équilibrer la charge des lits en unité de soins et soins intensifs, optimiser l'utilisation des ressources, mieux répartir les vacations entre spécialités et équilibrer l'activité entre plusieurs hôpitaux. De manière générale le Tableau 3-4 montre la diversité des approches mais également des méthodes utilisées pour la planification opératoire.

Pour réaliser notre état de l'art, nous avons retenu les critères suivants :

- Mots clés et résumé.
- Thème (planification, ordonnancement…).
- Type de problème traité (planification de tâches, simulation d'un système…).
- Détail du problème traité.
- Caractéristiques des tâches (programmées, urgences…).
- Mesure de la performance (makespan, nombre de salles d'opération utilisées…).
- Niveau / "Vue" décision (service, chirurgien, patient).
- Type d'analyse (optimisation, analyse de scenarios…).
- Type de solution technique (méthode exacte, simulation…).
- Détail de la solution technique : approche de résolution et/ou logiciel utilisé.
- Stratégie de résolution - critère(s) retenu(s).
- Taille des problèmes traités.
- Origines des données.
- Contexte stochastique / déterministe.
- Système(s) analysé(s) et exemple(s) présenté(s).
- Résultats principaux.
- Validation de l'approche et des résultats (application…).
- Hypothèses simplificatrices considérées.
- Prise en compte des ressources humaines.
- Prise en compte des lits en unité de soins.
- Prise en compte des urgences.
- Niveau(x) de modélisation.
- Horizon(s) temporel(s).

Le Tableau 3-4 est une synthèse de notre analyse. L'analyse complète et détaillée figure dans un rapport interne (Rodier, 2009a). Les critères retenus pour cette synthèse sont :

- Horizon(s) temporel(s) et niveau(x) de modélisation, que nous avons schématisé sous la forme d'une matrice 3x3 reprenant de cadre de notre fil conducteur (Tableau 2-3, p.37).
- Problèmes traités.
- Méthodes de résolution utilisées.
- Taille du problème et données utilisées (réelles ou générées).

- Stratégie de résolution et hypothèses simplificatrices.

Dans ce tableau, NR signifie « Non renseigné ».

Pour ce dernier critère, nous avons identifié certaines hypothèses que nous avons jugé simplificatrices et qui ont été faites par les auteurs. Ces hypothèses sont les suivantes :

H1 Toutes les ressources humaines d'un même type ont la même compétence ;

H2 Les préférences ne sont pas prises en compte ;

H3 Seuls les cas les plus fréquents sont pris en charge ;

H4 Les opérations en urgence ne sont pas considérées ;

H5 Les durées des opérations programmées sont connues à l'avance et déterministes ;

H6 Les salles ont des durées d'ouverture identiques ;

H7 Chaque chirurgien n'effectue qu'un type de chirurgie ;

H8 Seuls les chirurgiens sont considérés ;

H9 Toutes les salles sont identiques (et peuvent donc traiter toutes les opérations).

Nous nous sommes volontairement limités aux travaux concernant les blocs opératoires, qui sont nombreux. On trouve toutefois de nombreux travaux dans la littérature sur la planification et l'ordonnancement de l'activité dans des systèmes industriels pour lesquels on peut trouver des similitudes avec les blocs opératoires tels que les travaux sur l'incertitude de la demande ((Galasso, Merce, and Grabot, 2008; Peidro *et al.*, 2010) (Lin, Janak, and Floudas, 2004)).

Les méthodes approchées (heuristiques, métaheuristiques) semblent particulièrement adaptées pour résoudre les problèmes de planification et d'ordonnancement de l'activité opératoire. (Wullink *et al.*, 2006) donnent un aperçu des problèmes de planification opératoire et des méthodes approchées pour les résoudre : heuristiques de construction, glouton et recuit simulé.

Horizon temporel / Niveau de Modélisation	Problèmes traités	Méthodes de résolution utilisées	Taille du problème Données utilisées	Stratégie de résolution Hypothèses simplificatrices
Stratégique / Macroscopique et mesoscopique 	Planification de vacations chirurgicales par spécialité avec prise en compte des lits en unités de soins et en soins intensifs	Modèles mathématiques résolus par solveur (programme entier mixte) (Santibáñez, Begen, and Atkins, 2007)	Grand: 8 hôpitaux différents de taille variable, 4 semaines d'activité Données réelles	Selon le cas : Minimiser le nombre maximum de lits de réveil et de soins intensifs utilisés par jour Maximiser le nombre de patients pris en charge Minimiser la différence de volume d'activité entre les spécialités H5, H8
Tactique / Macroscopique et mesoscopique 	Établissement du programme chirurgical principal avec niveau d'occupation des lits	Heuristiques, métaheuristiques et modèles mathématiques résolus par solveur (Programme linéaire à variables mixtes) (Beliën and Demeulemeester, 2005).	Moyen : jusqu'à 12 plages horaires par jour, 15 chirurgiens et 12 patients par chirurgien Données générées	Minimiser la pénurie totale de lits Maximiser l'occupation des lits H4, H7
Tactique / Mesoscopique et microscopique 	Établissement du programme chirurgical principal	Heuristiques (problèmes de bin-packing) et modèles mathématiques résolus par solveur (génération de colonnes) (van Oostrum *et al.*, 2008).	Moyen : 5 à 20 salles par jour et 56 à 423 opérations Données réelles	Minimiser le nombre de salles d'opération Équilibrer l'occupation des lits en unité de soins H3, H4
Tactique et opérationnel/ Macroscopique 	Conception du planning opératoire pour l'ensemble des chirurgiens sans affectation ni ordonnancement	Modèles mathématiques résolus par solveur (problème de Sac à Dos Multiple) (Kharraja *et al.*, 2004).	Petit : 4 salles d'opérations, 10 chirurgiens, 80 interventions. NR	Minimiser l'écart entre l'offre de vacations et la demande des chirurgiens H5

Tactique et opérationnel/ Macroscopique et mesoscopique 	Planification d'interventions chirurgicales et comparaison des méthodes de block scheduling et open scheduling	Deux méthodes comparées : - Programme linéaire mixte résolu par solveur - Heuristique basée sur la méthode Hongroise (Chaabane *et al.*, 2008)	Grand : 6 salles d'opérations, 9 spécialités, 53 semaines d'activité Données réelles	Open : Minimiser la différence entre le planifié et la demande des spécialités Block : Minimiser le coût par patient (hospitalisation et débordement) H2, H3, H4, H5
	Affectation de plages horaires et planification d'interventions chirurgicales	Programme linéaire résolu par solveur (Hammami *et al.*, 2007)	Moyen : 17 chirurgiens, 5 salles opératoires Données réelles	Minimiser le nombre de groupes de chirurgiens et minimiser l'écart de charge entre les groupes Minimiser le nombre de plages allouées à chaque chirurgien (pour maximiser leur taille). Maximiser le nombre d'interventions affectées. H5
Tactique et opérationnel/ Mesoscopique et microscopique 	Planification d'interventions chirurgicales en tenant compte de la planification des infirmières	Modèles mathématiques résolus par solveur (génération de colonne et Braunch-and-price) (Beliën and Demeulemeester, 2008)	Moyen : 3 à 12 vacations/jour et 3 à 15 chirurgiens. Données générées.	Minimiser le nombre d'infirmières nécessaires H1, H2
	Planification et ordonnancement d'interventions chirurgicales	Simulation Monte Carlo et Programme entier mixte (Lamiri, Grimaud, and Xie, 2006).	Petit : 2 salles, 5 jours, 44 patients programmés. Données générées.	Minimisation des coûts liés aux interventions programmées et en urgence (coûts d'attente et de retard) H5, H6

Opérationnel / Macroscopique à microscopique	Planification et ordonnancement d'interventions chirurgicales	Modèles mathématiques résolus par une heuristique (Guinet and Chaabane, 2003).	Moyen : jusqu'à 85 opérations et 3 salles, sur 5 jours. Données générées.	Minimiser le coût total des interventions (ouverture de salle et durée de séjour) H4, H5, H8
		Modèles mathématiques résolus par solveur (programme linéaire à variables mixtes) (Jebali, Hadj Alouane, and Ladet, 2006).	Petit : jusqu'à 15 interventions, 4 lits de réveil, 3 salles d'opérations, 4 chirurgiens sur 1 jour. Données générées	Minimisation du coût (sur ou sous utilisation des salles et temps d'attente du patient) H4, H5, H8
	Planification d'interventions chirurgicales et comparaison des méthodes de block scheduling et open scheduling	Modèles mathématiques résolus par solveur (problème de Flow-Shop Hybride à trois étages) puis simulation à événements discrets pour prise en compte du facteur stochastique (temps opératoire) (Kharraja, Albert, and Chaabane, 2006).	Moyen : 4 salles d'opérations polyvalentes, 161 interventions chirurgicales, une semaine, 10 chirurgiens, 6 lits de réveil, 6 lits de soins intensifs Données générées.	Minimiser l'écart entre l'offre et la demande hebdomadaire de l'ensemble des chirurgiens H4, H8, H9
Opérationnel / Macroscopique et mesoscopique	Planification d'interventions chirurgicales	Modèles mathématiques (PLNE) résolu par une combinaison de méthodes exactes et approchées : génération de colonnes et Branch-and-Bound (Fei *et al.*, 2008)	Moyen : 4 salles, 5 jours, de 10 à 160 interventions Données générées	Minimiser le coût de sous utilisation des salles Minimiser le coût de dépassement des salles H4, H5, H6, H9

	Planification et ordonnancement d'interventions chirurgicales	Problème de sac à dos résolu par des heuristiques (bin-packing) et une métaheuristiques (recuit simulé) couplées avec un modèle de simulation Monte-Carlo (Hans *et al.*, 2008)	Grand: 16 salles d'opérations, 11 spécialités, 52 semaines Données générées	Maximiser le taux d'occupation Minimiser le débordement NR
	Planification et ordonnancement d'interventions chirurgicales avec prise en compte des lits de réveil	Problème identifié comme un Flow-Shop à deux étages et résolu par différentes heuristiques afin de les comparer (Iser, Denton, and King, 2008)	Moyen : 10 salles d'opérations, 10 ou 20 lits de réveil Données générées	Minimiser le coût : dépassement des salles d'opération et heures de travail des équipes de salle de réveil NR
Opérationnel / Mesoscopique	Planification et ordonnancement journalier des interventions chirurgicales	Programme entier mixte résolu par des heuristiques (Denton, Viapiano, and Vogl, 2007)	Petit : 1 salle d'opérations, 1 jour, de 2 à 12 interventions Données réelles	Minimiser la somme pondérée des coûts d'attente, de fonctionnement au ralenti et de dépassement NR
Opérationnel / Microscopique	Ordonnancement journalier des interventions chirurgicales dans un bloc opératoire en « Open scheduling »	Algorithme hybride : algorithme génétique couplé avec une procédure de recherche Tabou (problème de flow shop hybride à 2 étages) (Fei *et al.*, 2006)	Moyen : 6 salles d'opérations ,10 lits de réveil et jusqu'à 50 interventions. Données générées	Minimiser le coût des heures opératoires Minimiser le coût moyen des temps de passage des patients dans les salles d'opération H2, H4, H5, H6, H8, H9

Tableau 3-4. Aperçu des problèmes traités sur la planification des blocs opératoires

En reprenant une partie des heuristiques présentés par (Marcon and Dexter, 2006), (Iser, Denton, and King, 2008) proposent de comparer six heuristiques pour résoudre le problème d'ordonnancement de plusieurs salles d'opération avec prise en compte des lits de réveil :

- une heuristique d'ordonnancement aléatoire,
- une heuristique basée sur l'algorithme de Johnson (Johnson, 1954),
- une heuristique MIX (MIX operating room (OR) time) : cas le plus court puis cas le plus long, deuxième cas le plus court puis deuxième cas le plus long... ;
- l'heuristique HIHD (Half Increase in OR time and Half Decrease in OR time) : la plus longue en premier, la deuxième plus longue en dernier et ainsi de suite ;
- une alternative à l'heuristique de Johnson (Johnson pour les salles paires et son opposé pour les salles impaires)
- une heuristique BTM, pour Block Time Minimization, visant à minimiser les temps de blocage en salle d'opération du fait de l'indisponibilité de lit de réveil.

Johnson donne les meilleurs résultats sur les deux objectifs (minimiser le dépassement des salles d'opération et le temps d'utilisation des lits de réveil) mais il ne faut pas chercher à avoir un temps de blocage nul car cela détériore les résultats.

Certains auteurs couplent les méthodes approchées entre elles, voire avec des modèles de simulation pour obtenir des résultats plus fins (Albert, 2007). (Hans *et al.*, 2008) proposent de traiter le problème de planification robuste d'un bloc opératoire à l'aide de plusieurs heuristiques de construction et de méthodes de recherche locale (permutation aléatoire et recuit simulé). La meilleure des solutions obtenues est ensuite reprise par un modèle de simulation Monte-Carlo pour évaluer sa performance. Pour les heuristiques, la solution initiale est donnée par un algorithme reprenant la logique du gestionnaire de bloc (premier arrivé, premier placé). Les résultats permettent de donner le taux d'occupation moyen des salles, le nombre moyen d'heures de salles libérées, le dépassement total et le dépassement moyen par salle-jour.

Pour un aperçu plus exhaustif des problèmes traités et méthodes de résolution, Brecht Cardoen, Erik Demeulemeester et Jeroen Beliën ont proposé en 2010 un état de l'art relativement détaillé sur la problématique de la planification et l'ordonnancement des salles d'opération (Cardoen, Demeulemeester, and Beliën, 2010). Cet état de l'art répertorie 122 références récentes qui sont analysées selon différentes perspectives : les caractéristiques des patients (programmés, urgences, ambulatoires…) ; les indicateurs de mesure de la performance ; les niveaux de décision (date, temps, salle…) et selon quelle « vue » se situe la décision (discipline, chirurgien, patient) ; le type d'analyse effectué : problème d'optimisation, de prise de décision, d'analyse de scenarii… ; la solution technique apportée : programmation mathématique, simulation, approche analytique… ; la prise en compte ou non de l'aspect stochastique ; la mise en pratique des travaux proposés. Sur ce dernier point, les auteurs notent qu'il y a souvent un net écart entre la théorie et la pratique et ne recensent que très peu d'applications qui sont réellement mises en pratique (sept références). Le rapport interne préparatoire à ces travaux peut être librement consulté sur le site de l'Université de Leuven :

(https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/165923/1/KBI_0807.pdf)

4.2. Les logiciels sur le marché pour la gestion des blocs opératoires

Nous avons répertorié un certain nombre de logiciels s'intéressant à l'informatisation de l'activité opératoire avec leurs principales fonctionnalités (Cassagne, Gourgand, and Rodier, 2010). Ces fonctionnalités sont regroupées, pour chacun des logiciels étudiés, dans le Tableau 3-5.

Fonctionnalités \ Logiciels (éditeurs)	**BlocQual** (*McKesson*)	**Bloc** (*Computer engineering*)	**Sano Bloc** (*2CSI*)	**BlocReport** (*Smile*)	**Expert Santé** (*Expertiz*)	**Gmédecine** (*Gmédecine*)	**HOP.SIH** (*Cabystene*)	**Novamed s.o.**(*Nixe Computing*)	**Opéra** (*GE Healthcare*)	**OPTIM Bloc** (*Opéim S.A.*)	**Opti-time** (*DELIA SYSTEMS*)	**Planop** (*E-xera*)	**TimeWyse bloc** (*Canyon tech*)	**WebPCP** (*Web100T*)	**Winbloc** (*Logifrance*)
Planification des consultations / suivi pré opératoire	X	X	X		X		X		X	X	X	X			
Gestion et visualisation des plannings	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X		
Vue multiple des plannings					X			X		X			X		
Aide à la planification et à la programmation des interventions	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X		X	X
Planification en temps réel	X							X		X	X	X	X	X	X
Affectation manuelle des ressources	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X			X	
Saisie en temps réel lors de l'intervention	X								X	X				X	
Protocoles d'interventions	X	X	X		X	X	X		X	X			X		X
Gestion des comptes rendus opératoires	X	X	X							X				X	
Suivi post opératoire	X	X		X		X				X					
Cotation des interventions / suivi des coûts	X	X	X	X	X	X				X				X	X
Codification CCAM (Classification Commune des Actes Médicaux)	X	X	X	X	X	X				X				X	
Prise en compte du PMSI (Programme de médicalisation des systèmes d'information)	X	X	X		X	X				X				X	
Élaboration de tableaux de bords / statistiques	X		X		X	X	X		X	X					X
Gestion des lits en chirurgie ambulatoire	X														
Gestion des stocks	X		X			X			X	X			X		

Tableau 3-5. Fonctionnalités des principaux logiciels de gestion des blocs (juin 2008)

De nombreux logiciels déclarent posséder une fonction d'aide à la planification et à la programmation des interventions. Ces informations sont à manier avec précaution puisque le terme de planification est le plus souvent associé à la gestion des rendez-vous des chirurgiens pour leurs consultations pré-opératoires et à l'affectation manuelle des ressources (humaines et matérielles) aux opérations : nous n'avons pas trouvé d'éditeurs proposant des outils de création automatique de planning opératoire à partir d'une liste d'opérations et d'une configuration de bloc opératoire. A notre connaissance, dans les logiciels que nous avons recensés, seul le niveau opérationnel est pris en compte ; la plupart d'entre eux allant jusqu'au suivi d'activité (en temps réel ou non). Par ailleurs, pour les outils proposés sur le marché, il est difficile de distinguer la visualisation des méthodes et outils éventuellement issus de la recherche opérationnelle.

5. Conclusion

Les deux premiers chapitres ont présenté les principales spécificités des systèmes hospitaliers en faisant ressortir leur complexité avec notamment :

- un nombre important de parcours patient ;
- une complexité de ces parcours qui sont souvent non linéaires ;
- une complexité des traitements élémentaires (constitution des équipes, priorité, préemption…) ;

- de nombreuses règles de gestion.

Cette complexité a fait apparaître le besoin de méthodes et d'outils spécifiques permettant de la modéliser et de la prendre en compte dans les outils d'aide à la décision développés.

Tout en étant spécifiques, ces outils doivent :

- permettre une modélisation des systèmes au niveau le plus fin afin de ne pas se limiter quand aux résultats obtenus et couvrir l'ensemble des horizons temporaires ;
- être facilement intégrés dans un processus global visant à unifier les démarches, méthodes et outils employés pour la modélisation des systèmes hospitaliers, l'évaluation de leur performance et leur optimisation ;
- pouvoir servir de moyen de communication avec les équipes hospitalières.

Afin de trouver des réponses à ces besoins, nous avons donné dans ce chapitre un aperçu de la littérature sur :

- les méthodes et outils pour la modélisation des systèmes hospitaliers ;
- l'évaluation et l'optimisation de ces systèmes ;
- la planification et l'ordonnancement de l'activité opératoire, qui représente l'un des secteurs du domaine où la recherche opérationnelle est la plus utilisée.

Cet état de l'art nous permet de constater que :

- si chaque outil ou langage de modélisation apporte des solutions à plusieurs problèmes, aucun n'est suffisant pour analyser et modéliser les systèmes complexes ;
- au niveau de la modélisation, les ressources humaines sont le plus souvent prises en compte de manière agrégée et la notion « d'équipe » est généralement ignorée ;
- pour l'évaluation de la performance et l'optimisation (y compris pour la planification et l'ordonnancement de l'activité opératoire), les travaux issus de la littérature sont fortement dédiés : nous n'en avons pas trouvé qui puissent être facilement réutilisable et apporter des éléments de réponses couvrant l'ensemble des horizons temporels et niveaux de modélisation.

Nous proposons donc :

- un nouveau langage d'analyse et d'étude des systèmes hospitaliers (LAESH), présenté dans le chapitre 4, qui permet de communiquer avec les équipes hospitalières et de prendre en compte les spécificités des systèmes au niveau de détail le plus fin (parcours non linéaires, conception des équipes de ressources humaines, règles de gestion multiples…) ;
- une démarche globale de modélisation, présentée dans le chapitre 5, dans laquelle s'intègre naturellement le langage LAESH et qui permet l'enchaînement des étapes de la formalisation de la connaissance à la conception d'outils d'aide à la décision.

Notre démarche globale s'appuie sur la méthodologie ASCI (Analyse, Spécification, Conception, Implémentation) élaborée et développée initialement par (Gourgand, 1984) puis présentée officiellement en 1991 à Tours à un congrès de Génie Industriel (Gourgand and Kellert, 1991) puis en 1992 à Reno, aux États-Unis (Gourgand and Kellert, 1992).

Cette méthodologie, particulièrement adaptée à la modélisation des systèmes complexes, a été largement utilisée depuis, par l'équipe MAD (Modélisation et Aide à la Décision) du LIMOS, mais aussi dans d'autres laboratoires en France (Nancy, La Rochelle...) et à l'étranger (Belgique, Algérie…). A titre d'exemple, nous pouvons citer :

- pour les systèmes hospitaliers, les travaux de Catherine Combes (Combes, 1994), Christine Di Martinelly (Di Martinelly, 2008) et Julie Chauvet (Chauvet, 2009) ;

- pour les systèmes industriels de production, ceux de Jean-Yves Goujon (Goujon, 1997), Philippe Lacomme (Lacomme, 1998) et Hind El Haouzi (El Haouzi, 2008) ;
- pour les systèmes de transport et de trafic urbain, ceux de David Sarramia (Sarramia, 2002), Jean-Marie Boussier (Boussier, 2007) et Patrice Leclaire (Leclaire, 2009).

La méthodologie ASCI a également été utilisée, et continue à l'être, dans le cadre du projet de modélisation du NHE :

- par Pierre Féniès (Féniès, 2006), au niveau des concepts et liaisons avec le contrôle de gestion ;
- par Julie Chauvet (Chauvet, 2009), pour la constitution d'une base de connaissance des unités de soins du NHE ;
- par Jean-Charles Huet (thèse en cours), pour le circuit du médicament.

Cette méthodologie suit le fil conducteur de nos travaux (Tableau 2-3, p 37) en permettant de modéliser les systèmes quels que soient les niveaux de modélisation et horizons temporels choisis. Elle donne un cadre méthodologique allant de la modélisation des systèmes à la conception d'outils d'aide à la décision permettant leur évaluation et leur optimisation tout en laissant une grande liberté à ses utilisateurs quant aux langages et outils utilisés. Nous la présentons plus en détail et en proposons une instanciation sur le domaine des systèmes hospitaliers, que nous nommons ASCI-SH, dans le chapitre 5.

Nous utilisons LAESH et ASCI-SH afin de répondre à notre objectif de généricité et à notre objectif d'unification et de résolution des problèmes de modélisation et d'optimisation des systèmes hospitaliers, en proposant notamment dans le chapitre 6 :

- un modèle générique de connaissance du domaine (formalisation de la connaissance) qui puisse être instancié sur tout système hospitalier ;
- une bibliothèque de composants logiciels du domaine privilégiant la réutilisabilité pour la conception des outils d'aide à la décision ;
- un ensemble d'indicateurs regroupés dans un « modèle de résultats » applicable à tout système du domaine et permettant de couvrir l'ensemble des horizons temporels et niveaux de modélisation.

Chapitre 4

Proposition d'un Langage d'Analyse et d'Étude des Systèmes Hospitaliers

Sommaire

1. Introduction

Pour formaliser l'ensemble de la connaissance des systèmes étudiés à l'aide de modèles permettant de communiquer avec les équipes médicales et paramédicales, nous avons proposé un nouveau langage que nous présentons dans ce cinquième chapitre. Le Langage d'Analyse et d'Étude des Systèmes Hospitaliers (LAESH) reprend les éléments de base du Langage d'Aide à l'Évaluation des Systèmes (LAES) proposé il y a quelques années par le LIMOS pour modéliser les systèmes complexes (Gourgand, 1984; Chabrol, 1986; Chabrol and Gourgand, 1991). Un des avantages de ce langage est sa simplicité qui a facilité la communication avec les hospitaliers, et sa souplesse qui nous a permis d'envisager plusieurs extensions pour l'adapter au mieux au domaine étudié et permettre un passage plus facile de la formalisation de la connaissance à la conception d'outils d'aide à la décision.

Nous décomposons LAESH en deux parties :

- **La représentation graphique** pour les parcours patient qui représente un outil de communication majeur avec les équipes médicales et paramédicales ;
- **Le langage LAESH** qui permet, à partir de l'approche graphique, de construire une structure de données du système étudié, à l'aide des codes LAESH.

Nous présentons dans une première section la représentation graphique de LAESH en donnant les concepts de bases, éléments graphiques et symboles de structuration de ce langage avant de présenter les extensions apportées pour l'étude des systèmes hospitaliers. Dans une deuxième section, nous présentons brièvement le langage de description et les variables rattachées à la représentation graphique.

2. La représentation graphique

2.1. Les concepts de base de LAESH : la catégorie, la phase et le chemin

La modélisation avec LAESH s'opère à deux niveaux : le premier niveau, dit « global », utilise les notions de catégorie, de phase et de chemin, et le second niveau, dit « détaillé », donne le contenu de chaque phase. Les systèmes étudiés sont supposés ouverts.

Pour la classe des systèmes étudiés, plusieurs demandes de service sont acceptées concurremment. Une demande de service correspond à une catégorie de « clients » demandant un ensemble d'opérations (ou de services) élémentaires. Avec LAESH, nous considérons que les clients sont les patients. Nous utilisons ensuite la notion de classes de clients pour distinguer :

- Classe 1 : classe principale correspondant au patient. L'opération s'exécute directement sur le patient (exemple : acte chirurgical).
- Classe 2 : classe correspondant aux tâches annexes qui dépendent et qui sont liées au patient (exemple : rédaction compte rendu opératoire) ;
- Classe 3 : classe correspondant aux tâches annexes qui dépendent du patient mais qui sont liées à la structure (exemple : décontamination du matériel).

Le cheminement des patients de chaque catégorie est représenté de façon déterministe. Par abus de langage nous confondons catégorie, catégorie de patients et patient.

Dans le traitement d'une demande, différentes situations peuvent intervenir : demande insatisfaite, traitement complet,… Par définition à chacun de ces cas correspond un chemin. Un chemin est donc l'itinéraire suivi par le patient dans le système, depuis son entrée jusqu'à sa sortie. Un chemin est un enchaînement de phases, une phase étant un ensemble d'opérations

élémentaires. Une opération élémentaire représente le découpage le plus fin de l'activité, et correspond donc à un traitement élémentaire tel qu'il est défini dans la décomposition systémique du domaine. Une phase peut être commune à plusieurs chemins.

Ces notions de phase et de chemin paraissent naturelles pour les systèmes étudiés. En effet, deux demandes identiques n'ont pas la même probabilité d'aboutir. Par contre ces notions ne sont pas rigides puisque pour un même système le niveau de modélisation choisi peut être plus ou moins fin. La sortie d'une phase correspond en général à la réalisation d'une condition (par exemple présence ou absence de la ressource demandée, événement externe, fin de traitement,…) et l'entrée dans une phase correspond à la réalisation d'un événement (par exemple arrivée d'un patient, allocation d'une ressource,…). Dans le cas de la demande d'une ressource, deux cas peuvent se produire : la ressource est ou n'est pas disponible. Il y a donc une sortie (c'est à dire fin) de la phase de demande et entrée dans la phase d'allocation ou dans la phase correspondant à l'absence de ressource et dans les deux cas poursuite du traitement. Le passage d'une phase à une autre peut se faire selon une probabilité définie ($PR_{(I,J,K)}$: probabilité de transition de la phase I à la phase J dans la catégorie K).

Pour ce qui est des ressources, LAESH distingue deux types de ressources :

- les ressources actives, que nous assimilons aux ressources humaines et qui sont associées à chaque opération élémentaire ;
- les ressources passives qui représentent les ressources matérielles et qui sont associées à une ou plusieurs opération(s) élémentaire(s).

La Figure 4-1 donne un exemple de représentation globale d'une catégorie de patient contenant cinq phases et trois chemins, ainsi que l'exemple de la représentation détaillée d'une phase. Chaque phase fait l'objet d'une représentation graphique détaillée qui fait apparaître l'enchaînement des opérations élémentaires. La Figure 4-1 donne un aperçu de l'enchaînement des deux premières opérations d'une phase. Les opérations mobilisent des ressources passives et des ressources actives.

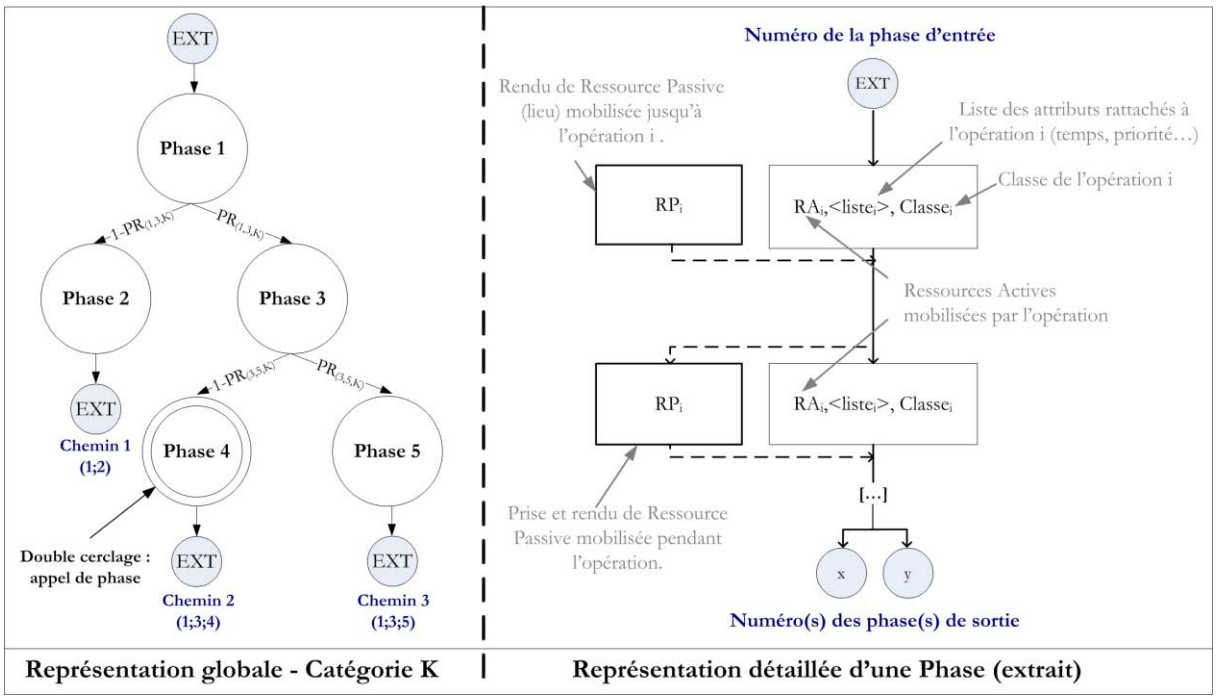
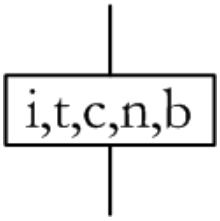


Figure 4-1. Exemple de parcours simplifié d'une catégorie de patiente dans le bloc obstétrique

Dans le langage initialement créé, l'exécution d'une opération élémentaire par une ressource active se représente par :



où :

- i est le numéro ou le nom de la ressource active ;
- t est le temps de l'opération élémentaire ;
- c la classe du client servi ;
- n le nombre d'exécutions ;
- b le bit de mise en file d'attente qui vaut 1 s'il y a mise en file d'attente, 0 sinon ;
- c, n et b peuvent être omis s'ils valent 1.

Avec LAESH, nous avons remplacé cette liste d'attributs par celle des attributs rattachés à l'opération élémentaire (classe traitement élémentaire de la décomposition systémique donnée dans le sixième chapitre).

Au vu de ces premiers éléments, nous donnons la table de correspondance entre les principaux concepts de base de LAESH et la décomposition systémique réalisée à l'aide de diagrammes de classes UML (Tableau 4-1).

Classe UML	Élément LAESH
Parcours	Catégorie
Activité	Phase
Traitement élémentaire	Opération élémentaire Temporisation
Ressource humaine	Ressource active
Ressource matérielle	Ressource passive

Tableau 4-1. Correspondances des principaux éléments UML et LAESH

2.2. Les éléments graphiques et symboles de structuration de base LAESH

Chaque phase des représentations graphiques globales fait l'objet d'une représentation graphique détaillée. Celle-ci fait apparaître l'enchaînement des opérations élémentaires et des symboles de structuration :

- **Début et fin de phase :** le début d'une phase est indiqué par le numéro de la phase précédente ou l'extérieur (EXT). La fin d'une phase est indiquée par le numéro des phases suivantes ou l'extérieur. Le symbole graphique qui suit le début d'une phase ou qui précède la fin d'une phase est le symbole d'une opération élémentaire ou d'une structuration.
- **Exécution d'une opération élémentaire** : l'exécution d'une opération élémentaire est réalisée par une à plusieurs ressources actives et peut mobiliser une à plusieurs ressources

passives. La combinaison de ressources nécessaires et la liste des attributs propres à l'opération élémentaire (temps, priorité…) sont données.

- **Temporisation** : une temporisation représente un temps d'attente avant de poursuivre le parcours patient. Elle correspond donc à un traitement élémentaire ne mobilisant pas de ressources humaines ;
- **Prise et rendu de ressource passive** : la prise et le rendu d'une ressource passive sont obligatoirement effectués par une ressource active. Les ressources actives effectuant la prise et le rendu peuvent être différentes. Une prise de ressource passive dans une phase implique le rendu de cette même ressource dans tous les chemins contenant la phase de la prise. La prise et le(s) rendu(s) d'une ressource passive sont identifiés à l'aide d'un indicateur.
- **Boucle :** les règles de structure applicables aux boucles sont celles appliquées en algorithmique (l'imbrication de boucles est autorisée mais le chevauchement des boucles est interdit).
- **Traitement en parallèle** : les traitements en parallèles utilisent les notions de nœuds et de branches. Le calcul des temps se fait en prenant pour chaque nœud le plus grand des temps des branches du nœud.
- **Appel de phase** : dans la description d'une phase on peut retrouver le contenu d'une autre phase. Plutôt que de reproduire ce contenu, on peut utiliser le symbole d'appel de phase. La représentation graphique reprend le numéro de la phase appelée ainsi qu'une liste de paramètres. La liste est vide si le contenu de la phase i doit être repris dans son intégralité. La possibilité de paramétrer une description de phase et un appel de phase permet, lors d'un appel, de remplacer les paramètres de la phase (paramètres formels) par les valeurs des paramètres d'appel (paramètres effectifs). L'appel de phase n'est autorisé que dans la catégorie de description de la phase.
- **Appel de sous phase** : dans la description d'une ou plusieurs phases on peut trouver des sous-ensembles identiques. Plutôt que de reproduire ce sous-ensemble on peut le définir comme étant une sous phase et utiliser le symbole d'appel de sous phase. Comme pour l'appel de phase, la représentation graphique reprend le numéro de la sous-phase appelée ainsi qu'une liste de paramètres (si différents de la sous-phase d'origine). L'appel de sous-phase est autorisé dans toutes les catégories du système.
- **Déclenchement de catégorie :** une catégorie de patient peut être déclenchée (créée) à la suite d'une opération élémentaire ou d'une temporisation. La représentation graphique donne le numéro de catégorie déclenchée, le nombre d'instances de cette catégorie déclenché ainsi qu'un éventuel délai entre la fin de l'opération élémentaire ou de la temporisation déclenchant la catégorie et sa création effective.

Le Tableau 4-2 donne les représentations graphiques de ces différents éléments avec le code LAESH correspondant.

2.3. Les extensions apportées pour l'étude des systèmes hospitaliers

Nous avons apporté plusieurs extensions au langage LAESH pour prendre en compte les problématiques rencontrées dans les systèmes hospitaliers.

Description	**Code LAESH**	**Représentation graphique**
Début de Phase	DEPH	i MG, Tps_3 ,1, $Zone_2$ ...
Fin de Phase	FIPH	SF, Tps_1 ,1, $Zone_1$ ... EXT j
Opération élémentaire	EXEC	**EXEC, <liste>**
Temporisation	TEMP	**TEMP, <liste> ...**
Prise de ressource passive	DEPR	**RP, <liste>** EXEC, <liste>
Rendu de ressource passive	FIPR	**RP, <liste>** EXEC, <liste>
Début de Boucle Fin de Boucle	DEBO FIBO	**N** EXEC, <liste>
Début de Traitement en parallèle Fin de Traitement en parallèle	DEPA FIPA	// EXEC, <liste> EXEC, <liste>
Appel de Phase	APPH	**I, <liste>**
Appel de Sous-Phase	APSP	**J, <liste>**
Déclenchement de catégorie	DECA	EXEC, <liste> **DECA, <liste>**

Tableau 4-2. Principaux éléments graphiques de LAESH

2.3.1. Multiplication des chemins à chaque XOR pour une opération élémentaire mobilisant les mêmes ressources

Le cheminement des patients comprend de nombreuses étapes où l'on peut avoir le choix entre deux opérations (« ou exclusif » = XOR) mobilisant les mêmes ressources actives et passives. On peut avoir plusieurs enchaînements d'opérations de ce type dans un même parcours. Dans le langage initialement créé, chaque XOR se traduisait par la création de nouveaux chemins, entraînant ainsi une multiplication des parcours. L'exemple est donné par la Figure 4-2.

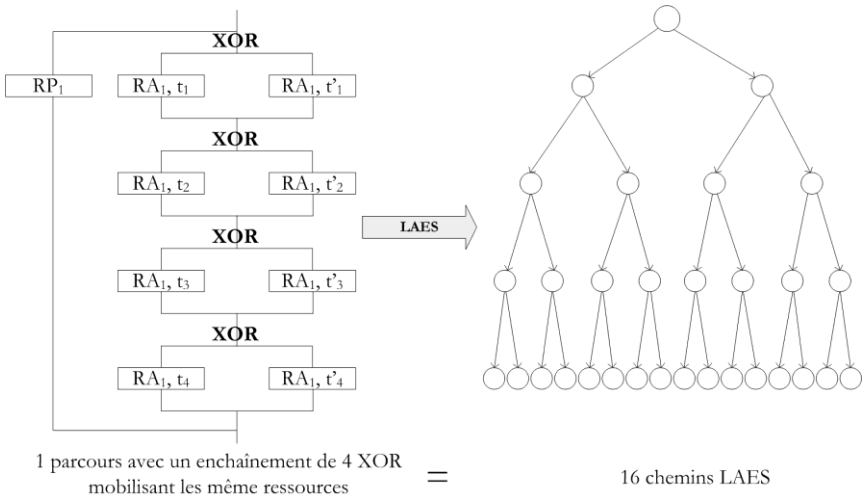


Figure 4-2. Traduction d'un ensemble d'enchaînements de conditions XOR en LAES

Avec LAESH, nous proposons de traduire l'ensemble des enchaînements XOR par une seule opération dont le temps d'exécution prendra en compte l'ensemble des possibilités. La Figure 4-3 illustre la solution proposée :

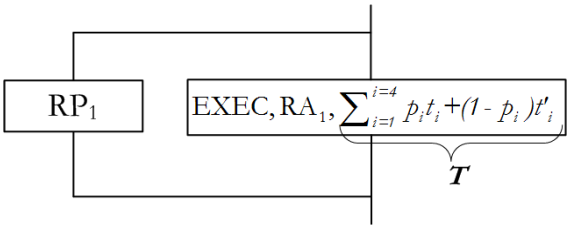


Figure 4-3. Extension LAESH proposée pour éviter la multiplication des chemins

p_i représente la probabilité que l'activité i soit réalisée et que l'activité i' soit non réalisée. Lorsque qu'une opération peut être ou ne pas être effectuée, il s'agit d'un cas particulier où t'_i est nul.

2.3.2. Mobilisation ponctuelle et cyclique des ressources actives par une opération élémentaire longue à durée variable

Certaines opérations mobilisent la ou les ressource(s) passive(s) pendant tout le temps T mais ne mobilisent la ou les ressource(s) active(s) que ponctuellement. Les ressources actives doivent donc pouvoir être libérées pour effectuer simultanément d'autres opérations. Nous proposons dans LAESH de placer une temporisation de temps *t'* après l'exécution de l'opération suivi d'une boucle qui permet de recommencer l'opération et la temporisation NB fois. NB pourra être une constante ou une variable, de même que *t'* (Figure 4-4).

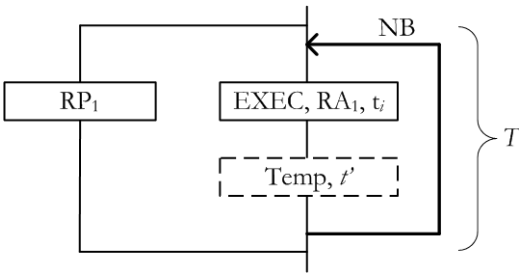


Figure 4-4. Mobilisation ponctuelle et cyclique représentée avec LAESH

2.3.3. Utilisation de plusieurs ressources sur une opération élémentaire

Dans le langage initialement créé, à chaque opération élémentaire est associée une ressource active effectuant cette opération. Comme nous l'avons vu en introduction de cette troisième section, les activités réalisées dans les systèmes hospitaliers peuvent faire appel à de nombreuses ressources humaines pour une même opération élémentaire.

Avec LAESH, nous avons introduit la notion « d'équipe » pour réaliser une opération élémentaire. Pour la composition de ces équipes de ressources, les opérateurs « Et » (AND), « Ou logique » (OR) et « Ou exclusif » (XOR) sont utilisés et peuvent être respectivement remplacés par les symboles $\wedge$,$\vee$, $\oplus$. Le « Ou logique » se traduit de la façon suivante : si une opération fait appel à l'équipe « $RA_1 \vee RA_2$ », alors l'activité pourra être réalisée par ordre de priorité par une des trois équipes, selon la disponibilité des ressources actives :

$$RA_1 \vee RA_2 \quad \oplus \quad RA_1 \quad \oplus \quad RA_2$$

Grâce à cette extension, si nous reprenons l'exemple de l'activité de césarienne spécifié en réseau de Petri dans le chapitre 1 (section 2, Figure 3-2, p. 50), la combinaison des ressources humaines peut être simplement spécifiée avec LAESH sous la forme :

(RA1 $\wedge$ RA2 $\wedge$ RA3$\wedge$ RA4) $\wedge$ (RA5$\vee$ RA6)

Nous avons également instauré cette extension pour les ressources passives.

2.3.4. Utilisation simultanée d'une ressource par plusieurs patients

Certaines opérations ne mobilisent une ressource active que ponctuellement car celle-ci est partagée par plusieurs opérations simultanées portant sur plusieurs patients. De la même façon, une ressource passive peut être partagée par plusieurs patients (par exemple, une salle d'attente). Avec LAESH, nous choisissons de définir un nouvel attribut de partage des ressources. Cette attribut, noté *P(N)* se situe juste après la spécification de la ressource ou de la combinaison de ressources. On renseigne *(N)* si le nombre de patients pouvant mobiliser la ressource est limité. Par défaut une ressource n'est pas partagée.

2.3.5. Maintien d'une même ressource active pour l'enchaînement de plusieurs opérations : ressources personnalisées

Certaines opérations mobilisent le même type de ressource active et il faut par défaut et sauf indication contraire ou préemption que la ressource active qui enchaîne l'ensemble des opérations jusqu'à la fin du chemin soit la même. Cette notion de « ressource personnalisée » est particulièrement importante dans les systèmes hospitaliers. Avec LAESH, la ressource de type *i* utilisée est la même pour les opérations élémentaires qui s'enchaînent sur un même parcours, sauf indication contraire ou préemption.

2.3.6. Attributs rattachés à chaque opération élémentaire et temporisation

Comme nous l'avons vu, avec LAESH nous remplaçons les attributs initiaux par la liste des attributs rattachés à l'opération élémentaire grâce à l'identifiant « Identifiant traitement ». Cette liste est composée de l'ensemble des attributs de la classe UML « Traitement élémentaire » défini dans le sous-système physique lors de la décomposition systémique en trois sous systèmes du sixième chapitre. Nous faisons la même chose pour les attributs de la temporisation.

3. Le langage LAESH

Un langage de description est utilisé pour la construction d'une structure de données à partir de la représentation graphique. Des modifications ont été apportées au code du langage LAES afin de tenir compte des extensions de LAESH (Chabrol, Gourgand, and Rodier, 2008d). A terme, l'objectif de la structure de données est de permettre une traduction automatique des modèles LAESH vers des outils d'évaluation de la performance.

3.1. La structure des données

La structure des données est organisée en blocs (Figure 4-5) :

- Le bloc 1 donne les caractéristiques générales des ressources retenues, le nombre de catégories et le nombre de classes par catégorie.
- Le bloc 2 décrit les catégories, les chemins et les phases, (ce bloc correspond à la représentation graphique globale).
- Le bloc 3 définit les variables simples et indicées apparaissant dans le fichier.
- Les blocs 4,..., N + 3 (N étant le nombre de catégories) correspondent à la représentation graphique détaillée. Le bloc I + 3 (I = 1, ..., N) est relatif à la catégorie I et contient la description des phases de cette catégorie.
- Le bloc N + 4 contient les descriptions détaillées des sous-phases pouvant être appelées dans les phases décrites précédemment.

Chaque bloc est défini comme étant un ensemble de phrases et le format général d'une phrase est le suivant :

NUMERO DE PHASE, CODE, RUBRIQUES ; COMMENTAIRE

- Une phrase est identifiée par un code. Nous donnons en Annexe I, les codes et les rubriques associées à chaque code.

Ressources, Catégories, Classes	Bloc 1
Clients, Chemins, Phases	Bloc 2
Variables	Bloc 3
Catégorie 1	Bloc 4
…..	
Catégorie N	Bloc N + 3
Sous-phases	Bloc N + 4

Figure 4-5. Structure générale du fichier de fonctionnement

La notion de code doit être introduite pour prendre en compte chacun des problèmes suivants :

- traduire une opération (exécution d'un travail par une ressource active, temporisation,…) ;
- délimiter un ensemble d'opérations (dans ce cas, il peut être associé à un autre code : c'est par exemple le cas d'un début de phase et d'une fin de phase) ;
- définir une ressource, un chemin, une phase, une catégorie ;
- définir une variable.

Les rubriques sont séparées par des virgules. Une rubrique peut être une constante, un nom de variable ou être omise. Dans ce cas, la valeur correspondante est soit prise par défaut, soit définie par ailleurs (dans le bloc 3 ou dans un programme exploitant le fichier).

Les rubriques des opérations élémentaires et des délimiteurs peuvent être des variables. En effet, on doit pouvoir facilement et rapidement prendre en compte des modifications sur la structure et/ou le fonctionnement du système à étudier.

Le problème qui se pose alors au niveau de la réalisation est celui du choix des variables, de leur type (variable simple ou variable indicée). Il est clair que des variables simples sont plus faciles à gérer à la fois par l'utilisateur et pour la réalisation du logiciel que des variables indicées. Nous proposons donc que les variables simples puissent être définies librement par l'utilisateur et que les variables indicées soient prédéfinies et en nombre limité.

L'utilisateur n'a donc pas la possibilité de créer et d'utiliser une variable indicée autre que celles qui sont prédéfinies. La présence de variables indicées prédéfinies permet de prendre en compte plus simplement les sous-modèles.

3.2. Les variables du langage LAESH associées à la représentation graphique

Les variables utilisées dans le langage LAESH sont de deux types :

- Le type 1 pour une variable indicée dont le nom est prédéfini.
- Le type 2 pour une variable simple dont le nom est défini par l'utilisateur. Une variable de type 2 est obligatoirement définie dans le bloc 3.

Le Tableau 4-3 donne la liste des variables de type 1, leur signification et les blocs où elles peuvent apparaître. Les variables retenues sont des variables dont la valeur peut dépendre d'un certain nombre de paramètres telles que la charge.

Nom	Signification	Blocs
DE $_{(I, J, K)}$	Délai pour le passage de la phase I à la phase J dans la catégorie K	2,3
NB $_{(I, J, K)}$	Nombre d'exécutions de la boucle I de la phase J dans la catégorie K	3,4,..., N+3
NE $_{(I, J)}$	Nombre d'exécutions de la phase I dans la catégorie J	3,4,..., N+3
PC $_{(I)}$	Proportion de patients de catégorie I	2,3
PR $_{(I, J, K)}$	Probabilité de transition de la phase I à la phase J dans la catégorie K	2,3
PS $_{(I, J)}$	Proportion d'utilisation du chemin I de la catégorie J	2,3
TC $_{(I, J, K)}$	Temps d'exécution pour la ressource I dans la classe K pour la catégorie J	1,2,...,N+3

Tableau 4-3. Liste des variables de type 1

4. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre le Langage d'Analyse et d'Étude des Systèmes Hospitaliers que nous avons utilisé pour modéliser les parcours patient complexes rencontrés dans les systèmes hospitaliers.

Nous avons donné dans une première section les principaux éléments des représentations graphiques globale et détaillée de ce langage. Après avoir présenté les concepts de bases, les éléments graphiques et les symboles de ce langage, nous avons détaillé les extensions apportées pour prendre en compte les spécificités des systèmes hospitaliers.

Dans une deuxième section nous nous sommes intéressés à la structure des données et aux variables du langage LAESH. Ce langage et son utilisation ont été montrés à plusieurs occasions lors de conférences francophones et internationales (Chabrol, Gourgand, and Rodier, 2007c; Chabrol *et al.*, 2008).

Nous présenterons dans le chapitre suivant notre méthodologie permettant de le mettre en œuvre.

Chapitre 5

Présentation de la Méthodologie ASCI et proposition d'instanciation sur les Systèmes Hospitaliers : ASCI-SH

Sommaire

1. Introduction

Nous présentons dans ce chapitre la méthodologie ASCI (Analyse, Spécification, Conception, Implémentation) et son instanciation sur les systèmes hospitaliers.

Nous souhaitons nous appuyer sur cette méthodologie afin de proposer une démarche globale qui permette l'enchaînement des différentes étapes depuis la formalisation de la connaissance jusqu'à la conception d'outils d'aide à la décision.

Dans la deuxième section, nous présentons la méthodologie ASCI qui, pour un système donné, repose sur les principes suivants :

- la décomposition systémique d'un système en trois sous-systèmes ;
- la construction d'un modèle de connaissance qui décrit la structure et le fonctionnement du système dans un langage naturel, graphique ou formel ;
- l'obtention d'un modèle d'action qui est une traduction du modèle de connaissance dans un formalisme mathématique (modèle mathématique, modèle à réseaux de files d'attente, …) ou dans un langage de programmation (langage de simulation, …) permettant l'évaluation des critères de performance choisis ;
- la définition d'un modèle de résultats, alimenté par le modèle d'action, qui regroupe les critères de performance nécessaires à la prise de décision.
- un processus de modélisation : l'exploitation du modèle de connaissance et du modèle d'action est appelée processus de modélisation.

Nous introduisons ensuite les notions de domaine (ou classe de systèmes) et de sous-domaine.

La méthodologie ASCI préconise pour un domaine la construction d'un modèle générique de connaissance et d'une bibliothèque de composants logiciels dont nous présentons les notions.

Pour conclure cette section, la méthodologie ASCI conduisant à la conception d'un environnement logiciel de modélisation, nous définissons cette notion et donnons la composition de cet environnement.

Dans la troisième section, nous présentons notre instanciation de la méthodologie ASCI sur le domaine des systèmes hospitaliers que nous proposons de nommer ASCI-SH (SH pour Systèmes Hospitaliers).

Nous définissons uniquement les méthodes, outils et langages que nous choisissons pour les différentes étapes de la méthodologie. La modélisation du domaine des systèmes hospitaliers avec ASCI-SH fait l'objet d'une présentation détaillée dans le chapitre 6.

Dans un deuxième temps, nous décrivons notre démarche pour la mise en œuvre de notre méthodologie ASCI-SH sur tout sous-domaine du domaine des systèmes hospitaliers. Nous précisons les différentes étapes qui seront suivies pour la modélisation des sous-domaines étudiés dans la deuxième partie :

- sélection des outils, méthodes et langages parmi ceux préconisés par ASCI-SH pour le domaine ;
- conception du modèle générique de connaissance du sous-domaine à partir du modèle générique de connaissance du domaine ;
- sélection des composants logiciels du domaine utilisables pour le sous-domaine et conception d'une base de composants logiciels spécifiques au sous-domaine ;
- sélection des indicateurs de performances parmi ceux proposés dans le modèle de résultats du domaine et ajouts d'indicateurs spécifiques au sous-domaine.

2. Présentation de la méthodologie ASCI

2.1. Décomposition systémique et processus de modélisation

2.1.1. Décomposition systémique

Pour appréhender un système complexe, ASCI préconise une décomposition du système en trois sous systèmes (Figure 5-1) :

- Le **Sous-Système Logique** (SSL) est constitué des transactions (flux) que le système doit traiter, de l'ensemble des activités concernant le traitement des ces flux, et des entités dans le système qui s'y rapportent.
- Le **Sous-Système Physique** (SSP) est constitué des entités physiques nécessaires à la réalisation de l'ensemble des services élémentaires. Le sous système physique comprend l'ensemble des moyens physiques (ressources), leur répartition géographique et leurs interconnexions.
- Le **Sous-Système Décisionnel** (SSD) ou sous-système de gestion est structuré en centre de gestion. Il contient l'ensemble des règles de gestion, d'allocation des ressources et de fonctionnement du système.

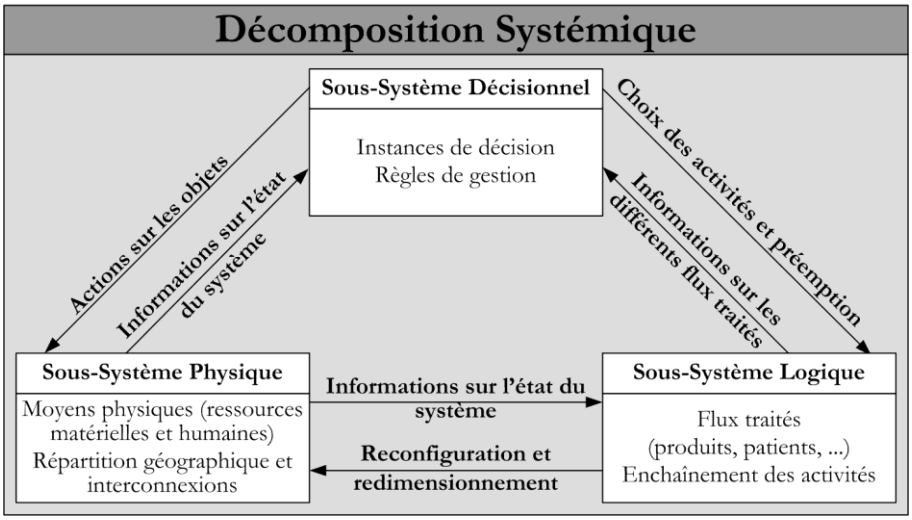


Figure 5-1. Décomposition du système en trois sous-systèmes

Comme le montre la Figure 5-1, ces trois sous-systèmes communiquent : la mise en œuvre des règles de gestion d'un système nécessite d'agir sur les entités du SSL et du SSP à partir des informations issues de ces sous-systèmes. Ce sont les centres de décisions (SSD) qui assurent le regroupement de ces informations et qui déclenchent des actions en fonction des conditions satisfaites. Les sous-systèmes physique et logique communiquent entre eux principalement à travers l'activité qui est un composant du sous-système logique et qui mobilise les ressources du sous-système physique.

2.1.2. Le modèle de connaissance

Le modèle de connaissance ou de fonctionnement d'un système (modèle descriptif de la structure et du fonctionnement d'un système) est une formalisation dans un langage naturel, graphique ou formel (méthodes et outils de spécification …) de la structure et du fonctionnement de ce système. La construction du modèle de connaissance doit être réalisée en étroite collaboration

avec les experts du domaine. Sa construction consiste en le recueil et la formalisation de la connaissance sur le système étudié. Il est donc très important de disposer de méthodes et d'outils compréhensibles par les experts du domaine.

2.1.3. Le modèle d'action

Le modèle d'action est une traduction partielle ou complète du modèle de connaissance (en fonction des objectifs et des hypothèses simplificatrices de la méthode utilisée) dans un formalisme mathématique (programmation mathématique, réseaux de files d'attente…) ou dans un langage de programmation (langage général de programmation, langage général de simulation ou simulateur dédié) permettant l'évaluation des critères de performance choisis qui constituent le modèle de résultats.

Le modèle d'action est directement exploitable et fournit les performances du système modélisé sans recourir à la mesure directe ; plusieurs modèles d'action peuvent être déduits à partir d'un même modèle de connaissance selon le formalisme choisi pour construire le modèle d'action et/ou le degré de finesse implanté par un modèle d'action : cette pluralité des modèles d'action débouche sur une panoplie d'outils d'aide à la décision généralement complémentaires.

2.1.4. Le modèle de résultats

Le modèle de résultats est alimenté à partir du modèle d'action mais doit évidemment être conçu en amont. Ce modèle est défini de préférence avec les utilisateurs, et doit permettre de répondre aux objectifs fixés. Il regroupe les résultats quantitatifs et qualitatifs fournis par le modèle d'action mis en forme pour permettre l'analyse du système et la prise de décision (indicateurs de performances, tableaux de bords, représentations graphiques). Ce modèle doit être conçu dans un souci de modularité et d'évolutivité.

La définition du modèle de résultats est particulièrement importante et doit être pensée en amont du processus de modélisation, au moment du choix des critères de performance. Elle induira par la suite la conception du modèle de connaissance (niveau de finesse de la modélisation) et celle du ou des modèle(s) d'action (choix des méthodes et outils).

En fonction des résultats obtenus, les décideurs vont pouvoir évaluer la pertinence des solutions envisagées et choisir ou non de modifier la structure de leur système (décomposition systémique), leurs processus (comportements des entités) ou leurs règles de gestion. Une fois le modèle de connaissance modifié, un nouveau modèle d'action pourra être généré afin d'obtenir de nouveaux résultats permettant au décideur de constater les incidences des modifications apportées sur les critères de performance.

2.1.5. Le processus de modélisation

Le processus de modélisation (Figure 5-2) est généralement itératif et est composé de quatre étapes qui sont l'élaboration d'un modèle de connaissance d'un système, l'obtention d'un modèle d'action à partir du modèle de connaissance, l'exploitation du modèle d'action pour évaluer les performances du système et l'interprétation des résultats avec la déduction des actions à effectuer sur le système.

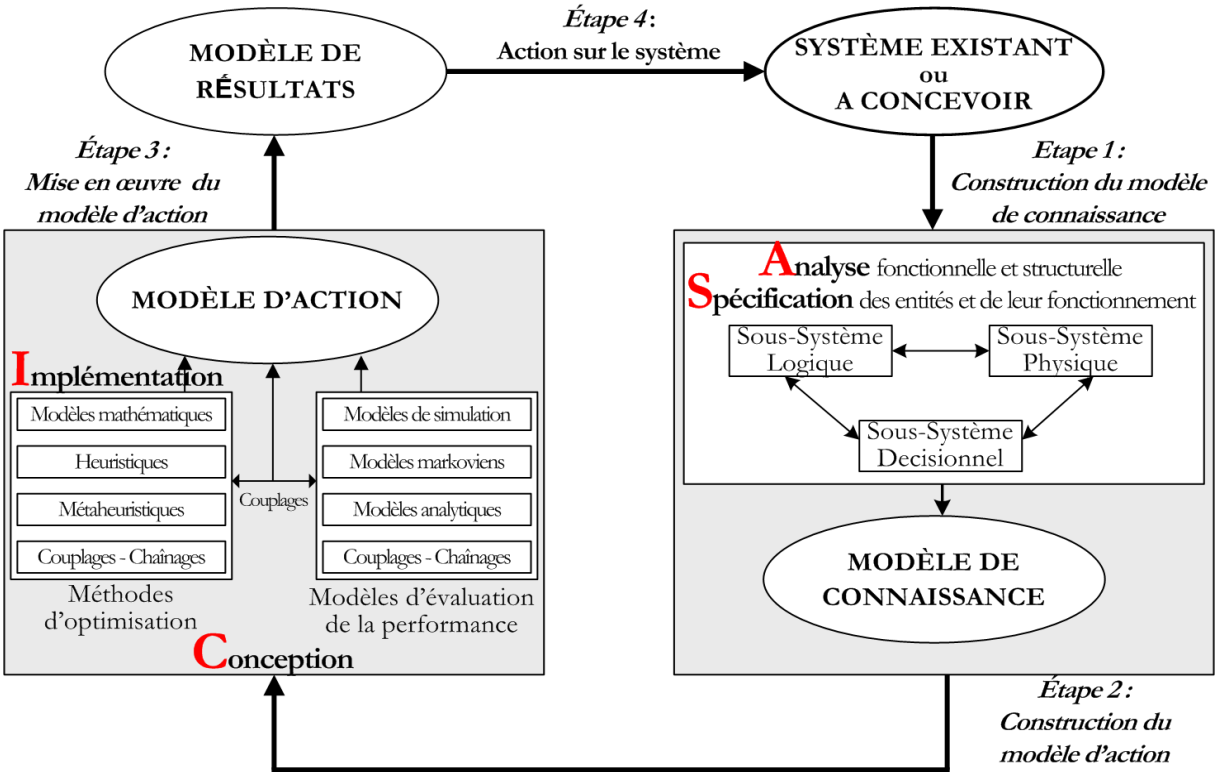


Figure 5-2. Le processus de modélisation

2.2. Les différentes étapes de la méthodologie ASCI

La méthodologie ASCI, pour un domaine, est représentée par la Figure 5-3 et comprend :

- les quatre étapes pour un domaine : Analyse, Spécification, Conception et Implémentation ;
- le processus de modélisation pour un système du domaine.

La particularité de la méthodologie ASCI réside dans son approche des systèmes par la notion de domaine. Elle s'intéresse ainsi à un ensemble de systèmes de mêmes caractéristiques (structurelles et fonctionnelles) et autorise la conception de modèles d'action pour tout système appartenant à cet ensemble.

2.2.1. Domaine et sous-domaine

Un **domaine** est une classe de systèmes qui regroupe un ensemble de systèmes comparables ayant les mêmes caractéristiques techniques et fonctionnelles. Il est ainsi possible de décrire la classe des systèmes industriels, la classe des systèmes hospitaliers…

Un **sous-domaine** est un ensemble de systèmes appartenant à un domaine. Dans le domaine des systèmes hospitaliers il est possible de décrire le sous-domaine des blocs opératoires, le sous-domaine des services d'urgences…

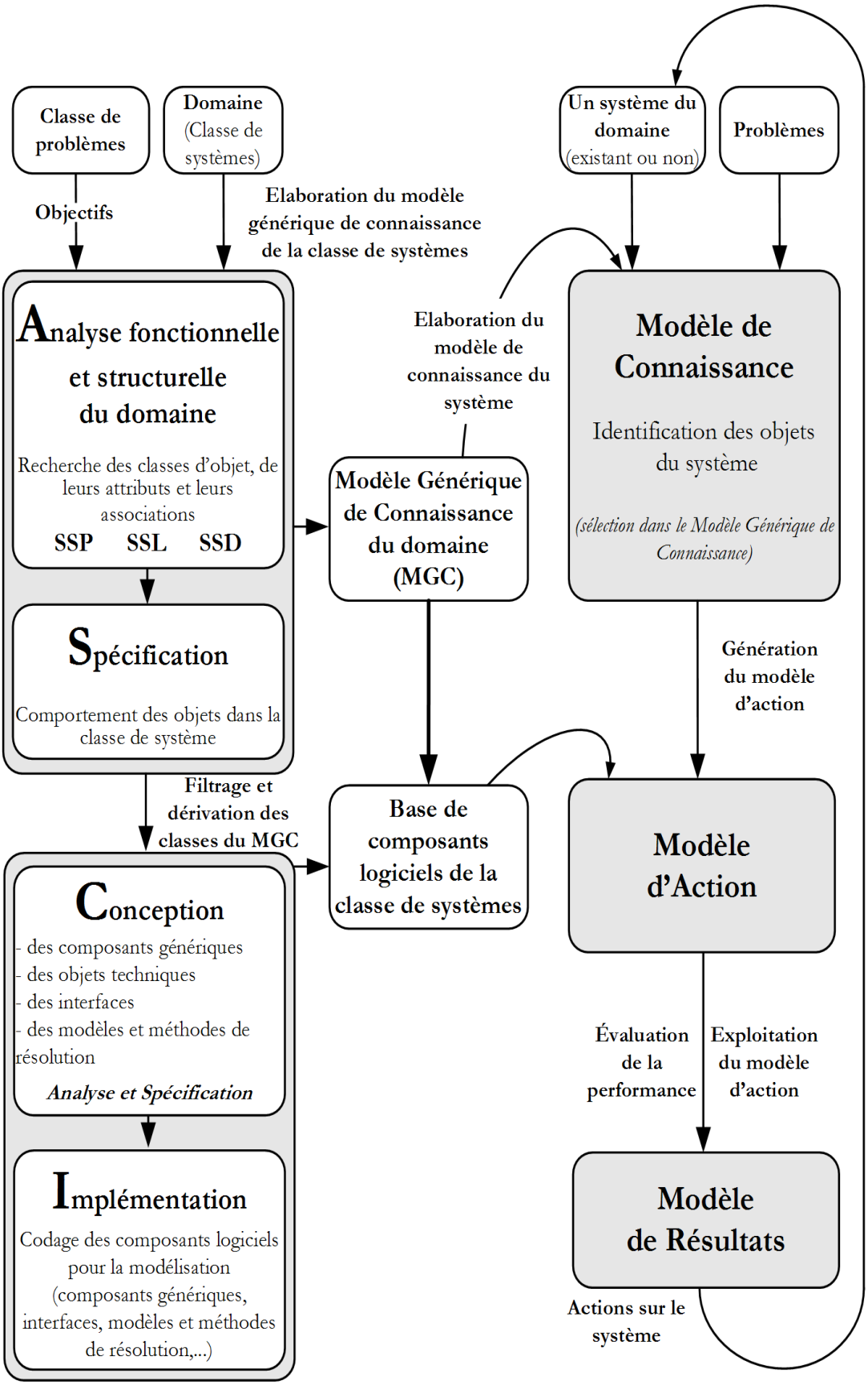


Figure 5-3. La méthodologie ASCI

2.2.2. Le modèle générique de connaissance du domaine

Une fois le niveau de modélisation (correspondant à la classe de problèmes à résoudre) et le domaine définis, la méthodologie ASCI consiste à concevoir un modèle générique de connaissance pour ce domaine. Le modèle générique de connaissance du domaine résulte de deux étapes successives :

- **L'Analyse fonctionnelle et structurelle du domaine** qui formalise le domaine sous une forme graphique ou syntaxique. Elle consiste à rechercher les entités du domaine, leurs fonctions et leurs associations. Cette analyse donne une vue « statique » du domaine étudié à partir de la décomposition systémique du système en trois sous systèmes telle que nous l'avons défini dans la sous-section 2.1.1.
- **La Spécification des entités et de leurs comportements** qui permet l'expression du fonctionnement des entités du domaine et des flux. En particulier, le système de pilotage doit être spécifié de façon précise, compte tenu des éléments à prendre en compte (règles de gestion…). La spécification ainsi réalisée doit permettre aux experts en modélisation et aux experts du système de s'accorder sur le fonctionnement (réel ou désiré) du domaine.

Le modèle générique de connaissance (MGC) du domaine ainsi réalisé peut être instancié sur tout système de ce domaine.

2.2.3. Les composants logiciels

Plusieurs modèles d'action peuvent être déduits d'un même modèle de connaissance mais la conception de chaque modèle d'action se fait à partir de deux étapes préliminaires qui sont :

- **La Conception** des composants logiciels génériques qui consiste à formaliser un ensemble de composants logiciels qui seront ensuite utilisés pour concevoir un modèle d'action (programme informatique) pour tout système du domaine. Ce formalisme se rapproche de l'implémentation sans prendre en compte les spécificités de telle ou telle implémentation (langage de simulation, langage de programmation…).
- **L'implémentation** qui consiste à coder les composants dans le langage souhaité afin qu'il puisse être utilisés et réutilisés dans les différents modèles d'action (programmes informatiques) qui seront développés pour chaque système étudié. Ces composants logiciels prennent la forme de briques logicielles et d'algorithmes réalisés dans différents langages de programmation ou à partir de logiciels dédiés comme cela peut être le cas avec des logiciels de simulation à événements discrets.

A partir du modèle générique de connaissance du domaine et des étapes de conception et d'implémentation, une base (ou bibliothèque) de composants logiciels du domaine est créée.

La création d'une bibliothèque ou base de composants logiciels va consister dans un premier temps à filtrer et faire dériver les classes du modèle générique de connaissance du domaine. Ces classes dérivent en éléments (ou classes) techniques après avoir été filtrées pour ne garder que celles qui seront utiles à la conception de modèles d'action. D'autres « classes techniques » peuvent également être crées pour le besoin de la programmation (Sarramia, 2002).

A partir du modèle de connaissance d'un système du domaine, cette bibliothèque permet la conception d'un à plusieurs modèle(s) d'action.

Selon la complexité du système et en fonction des objectifs de l'étude, le modèle d'action s'appuie alors sur

- des modèles d'évaluation de performances (modèles analytiques, modèles markoviens modèles de simulation…) ;

- des méthodes d'optimisation (méthodes exactes et méthodes approchées) ;
- une association des deux sous la forme de couplage ou de chaînage.

Les choix concernant le type de langage ou de logiciel à utiliser pendant l'étude sont pris en compte pendant l'implémentation qui correspond à l'écriture des composants logiciels. Elle peut s'effectuer dans un langage généraliste, dans un langage dédié de simulation ou à l'aide de solveurs spécialisés. L'idéal est d'obtenir à cette étape une bibliothèque de composants à assembler selon le problème posé, mais également par rapport à des variantes de ce problème. Cette bibliothèque est utilisable pour tout système du domaine.

2.3. Environnement logiciel de modélisation

La méthodologie de modélisation ASCI conduit à la conception d'un environnement de modélisation qui est défini comme étant un ensemble comprenant :

- ***Un logiciel d'Évaluation des Performances*** (noyau de l'environnement) qui est, en général, un modèle de simulation à événements discrets (déterministe ou stochastique).
- ***Une couche Graphique*** qui est composée d'outils autorisant une exploitation conviviale de l'environnement. La saisie du modèle de connaissance, l'exploitation de résultats à l'aide de techniques graphiques telles que l'animation seront mises en œuvre à l'aide de logiciels qui proposent des interfaces utilisateurs conviviales
- ***Une couche Aide à la Décision*** qui doit permettre à l'expert d'accéder aisément à des outils d'analyse des résultats.
- ***Une couche Gestion de Données*** qui concerne l'accès à des bases de données en vue, par exemple, de recueillir les caractéristiques des entités,...
- Une couche **Recherche Opérationnelle et Statistiques** qui permet d'exploiter facilement ces techniques pour déterminer par exemple les lois de probabilité ou pour aider à l'interprétation des résultats.
- ***Une couche Méthodes d'Analyse et de Spécification et Outils de Spécification*** qui contient des méthodes et des outils d'analyse et de spécification pour décrire, d'une part, la structure du système et, d'autre part, pour spécifier les flux et les règles de gestion du système.

Toutes ces couches communiquent à l'aide ***d'Interfaces***.

La Figure 5-4 montre l'architecture de cet environnement de modélisation.

Après avoir présenté la méthodologie ASCI, nous proposons dans la deuxième section, l'instanciation de cette méthodologie sur le domaine des systèmes hospitaliers que nous nommons ASCI-SH.

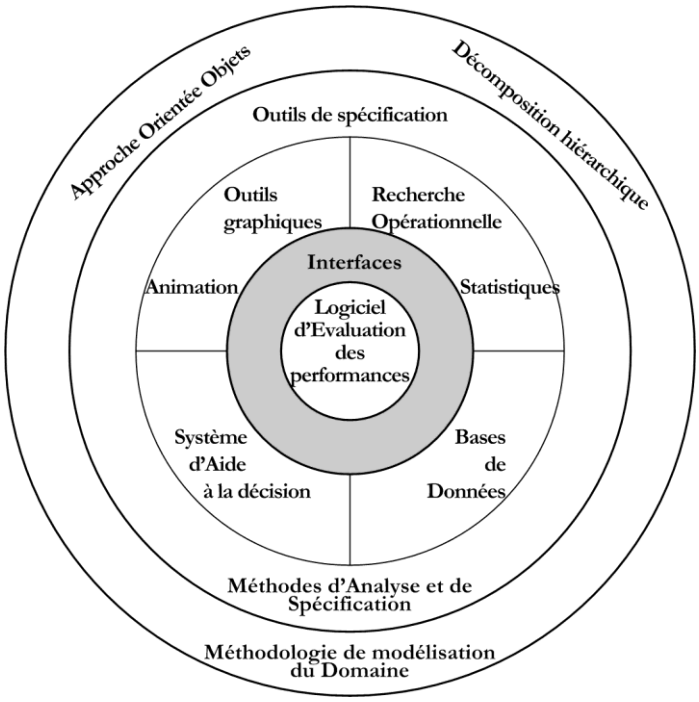


Figure 5-4. Définition d'un environnement de modélisation

3. Proposition d'une instance de la méthodologie ASCI sur le domaine des systèmes hospitaliers : ASCI-SH

Dans cette deuxième section, nous présentons la méthodologie ASCI-SH qui est notre instanciation de la méthodologie ASCI sur le domaine des systèmes hospitaliers et nous définissons :

- les concepts de domaine et sous-domaine des systèmes hospitaliers ;
- les étapes de notre démarche qui s'appuie sur l'instanciation de la méthodologie ASCI sur le domaine des systèmes hospitaliers ;
- les méthodes, outils et langages que nous choisissons pour les différentes étapes de la méthodologie et qui seront utilisés pour la modélisation du domaine des systèmes hospitaliers avec ASCI-SH dans le chapitre 6 ;
- les différentes étapes qui seront suivies pour la modélisation des sous-domaines étudiés dans la deuxième partie de cette thèse.

3.1. Domaine et sous-domaines des systèmes hospitaliers

Avant de concevoir le modèle générique d'un domaine ou d'un sous-domaine, il convient de bien en définir le périmètre. Comme le montre la Figure 5-5, le domaine des systèmes hospitaliers peut être décomposé selon différentes vues. Si l'on choisit une vue structurelle et descendante, le domaine des systèmes hospitaliers est composé de nombreux systèmes qui peuvent eux-mêmes être regroupés en plusieurs sous-domaines structurels tels que par exemple :

- les Centres Hospitaliers Universitaires (CHU),
- les hôpitaux locaux,
- les cliniques privées…

Chacun de ces sous-domaines est composé d'un ensemble d'entités juridiques correspondantes (CHU, hôpitaux locaux, cliniques…), elles-mêmes composées d'un ensemble de services (unités

de soins, bloc opératoire…). Selon le niveau de modélisation souhaité, un système peut par exemple représenter une entité juridique ou, de manière plus fine, un ensemble de service (voire un service).

Nous pouvons également, au niveau des services, analyser le domaine des systèmes hospitaliers selon une vue transversale et fonctionnelle qui permet de faire apparaître des sous-domaines « fonctionnels » réunissant des services ayant les mêmes grandes caractéristiques mais appartenant à des entités juridiques distinctes comme par exemple :

- les unités de soins,
- les blocs opératoires,
- les services d'urgences….

Au niveau de modélisation le plus fin, cette vue est générique puisqu'elle s'intéresse à l'ensemble des services présentant les mêmes caractéristiques, quelle que soit leur structure de rattachement.

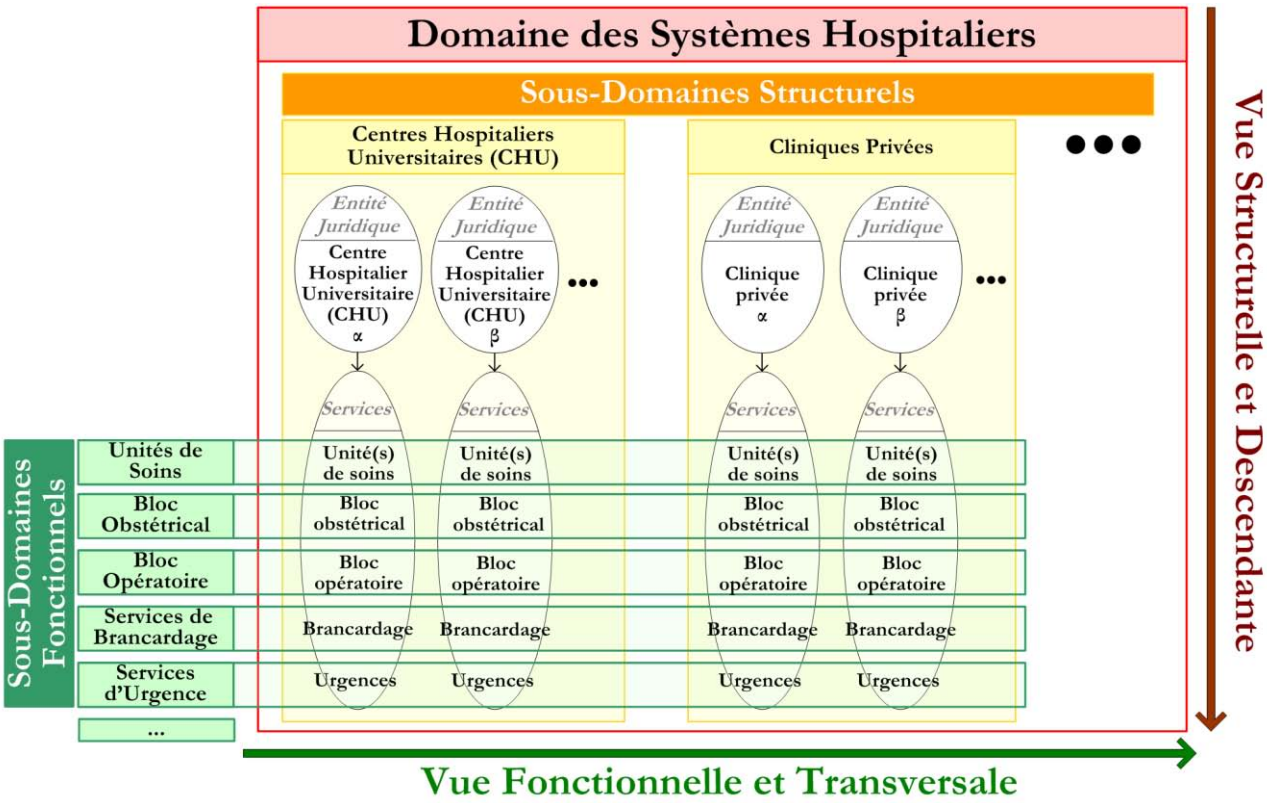


Figure 5-5. Vues structurelle et fonctionnelle du domaine des systèmes hospitaliers

Dans nos travaux, nous avons donc choisi de nous intéresser aux sous-domaines fonctionnels et de proposer une méthodologie qui puisse s'appliquer au domaine puis à chaque sous-domaine fonctionnel.

3.2. Proposition de ASCI-SH

Comme nous l'avons vu en introduction, nous proposons avec ASCI-SH une démarche globale qui permet l'enchaînement des différentes étapes depuis le recueil et la formalisation de la connaissance jusqu'à la conception d'une bibliothèque de composants logiciels. Ces composants permettent la conception d'outils d'aide à la décision pour tout système du domaine.

Les différentes étapes de notre démarche sont représentées sur la Figure 5-6 et sont les suivantes :

- **Étape 1.** A partir des concepts définis par la méthodologie ASCI et de la notion d'environnement logiciel, nous proposons une instance ASCI-SH qui permet de définir les méthodes, outils et langages préconisés pour les systèmes hospitaliers.
- **Étape 2.** Nous appliquons notre méthodologie ASCI-SH au domaine des systèmes hospitaliers afin de concevoir :
  - un modèle générique de connaissance du domaine ;
  - une base de composants logiciels pour le domaine ;
  - un modèle de résultats du domaine.
- **Étape 3.** A partir du modèle générique de connaissance du domaine, nous appliquons ASCI-SH à un sous-domaine des systèmes hospitaliers en définissant les étapes suivantes :
  - sélection des outils, méthodes et langage parmi ceux préconisés par ASCI-SH pour le domaine ;
  - conception du modèle générique de connaissance du sous-domaine à partir de la sélection et de la spécialisation des entités du modèle générique de connaissance du domaine ;
  - spécification du comportement des entités et des règles de gestion ;
  - sélection des composants logiciels du domaine utilisables pour le sous-domaine et conception d'une base de composants logiciels pour le sous-domaine ;
  - implémentation des composants logiciels ;
  - sélection des indicateurs de performance parmi ceux proposés dans le modèle de résultats du domaine et ajouts d'indicateurs spécifiques au sous-domaine.
- **Étape 4.** Instanciation du modèle générique de connaissance du sous-domaine à un système de ce sous-domaine avec éventuellement :
  - sélection des indicateurs de performance parmi ceux proposés dans le modèle de résultats du domaine et ajouts d'indicateurs spécifiques au système ;
  - sélection des entités du modèle générique de connaissance du sous-domaine pour la conception du modèle de connaissance du système ;
  - sélection des composants logiciels du sous-domaine et création de composants logiciels spécifiques.
  - implémentation des composants logiciels pour la conception du modèle d'action ;
  - définition des règles de passages (traduction) du modèle de connaissance aux modèles d'action.
- **Étape 5.** Mise en œuvre du modèle d'action.

Dans la sous-section suivante, nous nous intéressons la première étape qui consiste à choisir les méthodes, outils et langages.

La deuxième étape sera détaillée dans le chapitre 6. Les troisième, quatrième et cinquième étapes, qui vont de l'utilisation d'ASCI-SH pour le sous-domaine à la mise en œuvre des outils, seront abordées dans la deuxième partie de cette thèse. Nous reprendrons dans une dernière sous-section, les différentes étapes de l'utilisation d'ASCI-SH pour le sous-domaine.

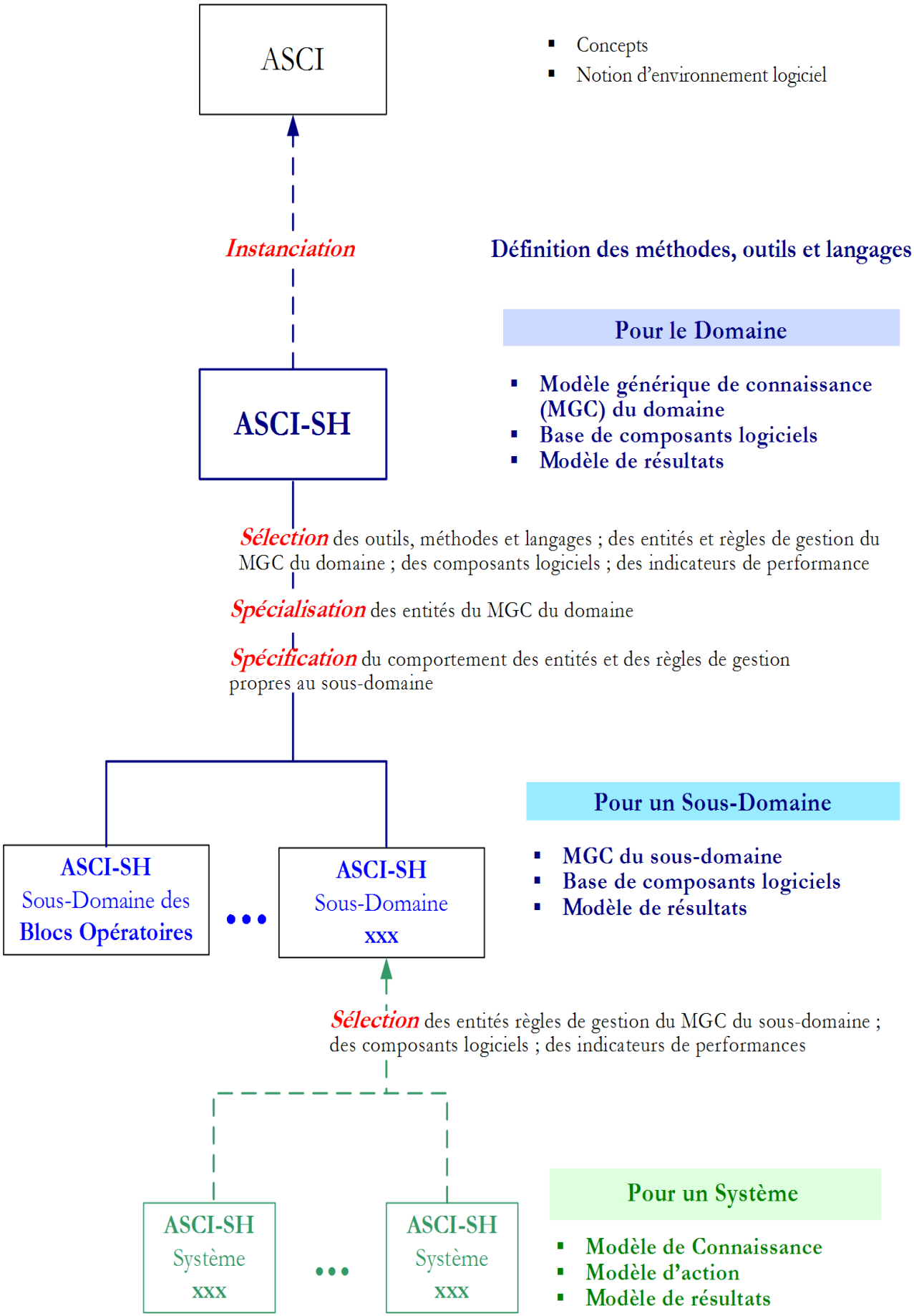


Figure 5-6. Les différentes étapes de notre démarche

3.3. Choix des méthodes, outils et langages pour ASCI-SH

La méthodologie ASCI ne préconise aucun outil spécifique pour ses différentes étapes. Un des objectifs premiers de nos travaux de recherche étant de proposer une démarche globale visant à unifier et à résoudre les problèmes de modélisation et d'optimisation dans les systèmes hospitaliers, nous avons fait le choix de préconiser certains formalismes pour les différentes étapes de la méthodologie ASCI-SH : analyse et spécification (3.3.1), conception et implémentation (3.3.2).

Nous synthétisons l'ensemble des formalismes préconisés avec la Figure 5-7 qui donne ainsi notre cadre de modélisation pour la mise en œuvre de ASCI-SH.

3.3.1. Formalismes pour l'Analyse et la Spécification

Pour modéliser les systèmes complexes, on distingue deux approches complémentaires (Chabrol, 1986) :

- Une ***approche station classique*** dans laquelle l'observateur (ou le concepteur) décrit, dans le formalisme choisi, le fonctionnement de chaque ressource active du système. Cette approche est la plus simple à modéliser : le système est décrit comme un ensemble, chaque élément le composant est considéré comme une station de service avec ou sans file d'attente.
- Une ***approche transaction***, où l'on décrit, dans le formalisme choisi, le fonctionnement du système en spécifiant, pour chaque type de flux d'entités qui traversent le système, le cheminement de ces entités et les traitements successifs qu'elles subissent : le système est décrit par le cheminement des demandes de service dans le système. Ce cheminement est composé des différents traitements effectués par les stations utilisées auxquelles sont affectés des temps d'utilisation. La notion d'ensemble organisé disparaît avec cette approche qui est couramment utilisée en simulation où la description du fonctionnement est traduite dans un langage particulier. Les éléments de flux qui traversent un système pour être traités sont nommés transactions. Dans un système industriel de production, les transactions sont les composants, les matières premières, les produits semi-ouvrés. Dans un système informatique, ce sont les programmes (système d'exploitation ou utilisateur) qui peuvent être décomposés en un ensemble de tâches où chaque tâche est une transaction. Enfin, dans un système hospitalier, ce sont essentiellement les patients qui subissent un ensemble de traitements.

Cette seconde approche est la plus utilisée dans les systèmes hospitaliers dès lors que l'on s'intéresse aux parcours des patients, c'est-à-dire au cheminement des clients à travers le système, c'est également la plus complexe à modéliser. Toutefois, comme nous le verrons dans la partie 2 lorsque nous nous intéresserons au sous-domaine des unités de soins, la notion de parcours patient n'induit pas systématiquement celle de cheminement, et les parcours les plus simples peuvent alors être modélisés avec une approche station classique.

Le choix d'une méthode ou d'un langage dépend bien entendu de l'approche utilisée, des objectifs de la modélisation mais également des contraintes qui peuvent se poser en termes d'accessibilité, de convivialité, de temps d'apprentissage intrinsèques à chaque méthode.

Formalismes préconisés pour ASCI-SH

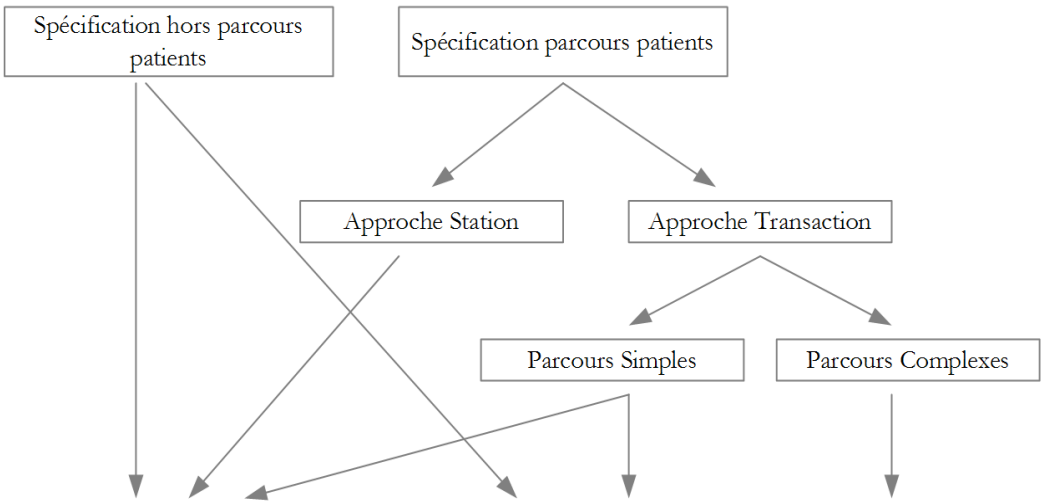
A

Analyse et décomposition systémique

UML
- Diagrammes de classes

S

Spécification du comportement des entités



UML + Structure de données
- Diagrammes de classes d'analyse
- Diagrammes d'activités
- Diagrammes état-transition

ARIS + Structure de données
- *Chaîne de Processus Evénementielle*
- *Arbre de fonctions*

LAESH
- Représentation globale
- Représentation détaillée
- Structure de données

Spécification des règles de gestion

UML
- Diagrammes d'activités

ou

Algorithmes

C

Conception des composants logiciels (analyse et spécification)

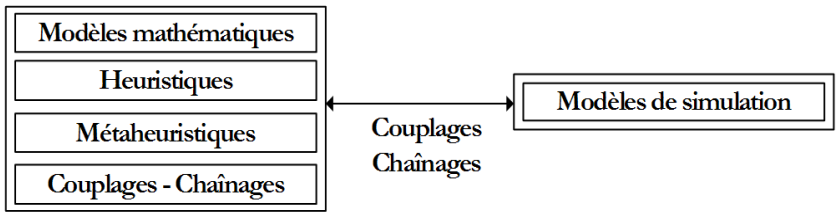
UML
- Diagrammes de classes de conception

ou

Algorithmes

I

Implémentation



Méthodes d'optimisation — **Modèles d'évaluation de la performance**

Figure 5-7. Cadre de modélisation pour la mise en œuvre de ASCI-SH

Dans le cadre de nos travaux dont l'un des objectifs est de concevoir et de mettre à la disposition des hospitaliers des outils d'aide à la décision permettant de couvrir les horizons stratégique, tactique et opérationnel, nous devons tenir compte, dans le choix de nos méthodes et outils, de deux principales contraintes :

- ***Une contrainte liée à la complexité systémique*** des systèmes étudiés : un nombre important de parcours patient ; une complexité de ces parcours qui, souvent, ne sont pas linéaires ; l'utilisation de probabilités ou de règles de gestion dans ces parcours ; des opérations complexes sur les ressources humaines concernant leur affectation, leurs règles de priorité, leur association à d'autres ressources humaines pour une même activité pouvant aboutir à des équipes composées de 8 ressources humaines pour un même patient et pour une même activité.
- ***Une contrainte liée à la diversité des intervenants*** sur le projet (soignants, médecins, informaticiens, direction) qui nécessite de trouver une méthode et des outils facilement assimilables par des personnes, pour la plupart, non initiées à la modélisation, afin que ces derniers puissent à tout moment comprendre et compléter éventuellement la connaissance formalisée (pour les soignants et médecins par exemple) et répercuter ces modifications sur les outils développés (pour les informaticiens).

Au vu de ces éléments, nous nous sommes intéressés à deux approches de modélisation :

- ***Une approche orientée objet*** pour la décomposition systémique du système en sous système physique, logique et décisionnel : notre choix s'est porté sur le langage UML qui à l'avantage d'être une formalisation très aboutie et non propriétaire et facilement compréhensible par des « non initiés ». Pour ce découpage en sous-systèmes, nous avons utilisé les diagrammes de classes.
- ***Une approche orientée processus*** pour modéliser les parcours patient et le reste de l'activité hors parcours patient :
  - fonction des acteurs : planning journalier des tâches à effectuer par fonction (médecin, infirmier…) indépendamment de la prise en charge des patients ;
  - activités aléatoires indépendantes du parcours patient …

  En nous appuyant sur les définitions de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) nous définissons le processus comme un enchaînement d'activités corrélées ou interactives, qui est alimenté par des entrées, qui dispose de ressources et qui ajoute de la valeur par rapport au but pour créer des éléments de sortie (ISO 9000/2000). Cette étape permet de spécifier le comportement des entités répertoriées dans le sous-système physique afin de traiter les flux identifiés dans le sous-système logique en appliquant les règles de gestion du sous-système décisionnel.

  Pour la formalisation des parcours patient, et en nous appuyant sur les travaux de (Chabrol, Chauvet, and Féniès, 2006) nous avons opté dans un premier temps pour des chaînes de processus événementielle (CPE) réalisées avec la méthode ARIS (Sheer, 2001). Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, nous n'avons pas réussi à l'aide d'ARIS à modéliser l'ensemble des systèmes étudiés au niveau le plus fin (niveau microscopique) en prenant en compte toutes les spécificités et règles de gestion. Nous préconisons donc dans ASCI-SH :

  - pour les systèmes ayant des parcours patient complexes, l'utilisation du Langage d'Analyse et d'Étude des Systèmes Hospitaliers (LAESH) présenté dans le Chapitre 4 ;

- pour les systèmes ayant des parcours patient simples (parcours linéaires, combinaison de ressources simples …), et pour l'activité hors parcours patient, l'utilisation de diagrammes d'activités et de diagrammes d'état-transition UML ou du langage ARIS complétés par une structure de données. Lorsque le formalisme utilisé ne le permet pas, ou ne le permet que partiellement, une structure de données permet de reprendre, pour chaque entité issue de la décomposition systémique, les différentes caractéristiques de cette entité. Comme nous préconisons l'utilisation de diagrammes de classes pour la décomposition systémique, ces caractéristiques correspondront aux attributs des classes.

Il est à noter que pour LAESH, cette notion de structure de données est incluse dans le langage.

Pour la spécification des règles de gestion (sous-système décisionnel), nous préconisons avec ASCI-SH, l'utilisation de diagrammes d'activité UML et d'algorithmes.

3.3.2. Formalismes pour la Conception et l'Implémentation

Dans la méthodologie ASCI, l'étape de conception est elle-même décomposée en deux sous étapes :

- L'**analyse** consiste à réaliser une dérivation des classes du diagramme de classes d'analyse obtenus lors de la décomposition systémique en un diagramme de classes techniques qui est ensuite utilisé dans la spécification des composants logiciels. Pour la méthodologie, nous préconisons également le langage UML et les diagrammes de classes pour formaliser cette étape d'analyse.
- La **spécification** qui permet de concevoir les composants logiciels à partir des diagrammes de classes techniques. Dans ASCI-SH, nous préconisions l'utilisation d'algorithmes pour cette spécification.

Le choix des formalismes pour la conception et l'implémentation découle directement d'une part, des objectifs de l'étude qui déterminent le niveau de modélisation (ou niveau de finesse) ainsi que les critères de performance, et d'autre part, de la complexité du système. Selon la complexité du système, et en fonction des objectifs, le modèle d'action s'appuie alors, comme nous l'avons vu avec le processus de modélisation d'ASCI (Figure 5-2, p 87), sur des modèles d'évaluation de performances, des méthodes d'optimisation ou une association des deux sous la forme de couplage ou de chaînage.

Pour les modèles d'évaluation de performance on peut citer les modèles analytiques, les modèles markoviens ou encore les modèles de simulation. Pour les méthodes d'optimisation, celles-ci peuvent globalement être scindées en deux grandes familles : les méthodes exactes (modélisation mathématiques) et les méthodes approchées (heuristiques et métaheuristiques).

Parmi les modèles d'évaluation de performance cités, seule la simulation à événements discrets nous permet de répondre aux problématiques identifiées dans le chapitre 2 et de fournir les indicateurs de performance nécessaires à la prise de décision aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel. Pour l'optimisation, selon les problèmes étudiés, nous préconisons l'utilisation de méthodes exactes ou de méthodes approchées. Comme nous le verrons dans la partie 2, il est également intéressant pour le domaine des systèmes hospitaliers de réaliser des couplages ou des chaînages entre ces différentes méthodes.

Après avoir défini les formalismes préconisés lors de l'instanciation de la méthodologie ASCI sur les systèmes hospitaliers et avoir ainsi proposé un cadre de modélisation pour ASCI-SH (Figure

5-7), nous détaillons dans la sous-section suivante les différentes étapes de l'utilisation d'ASCI-SH sur les sous-domaines.

3.4. Application de ASCI-SH aux sous-domaines

Dans cette dernière sous-section, nous précisons les différentes étapes qui seront suivies pour la modélisation des sous-domaines étudiés dans la deuxième partie.

Quel que soit le sous-domaine étudié, l'application de ASCI-SH permet :

- de définir à partir des problématiques et objectifs fixés, une architecture d'environnement logiciel identique pour l'ensemble des systèmes d'un sous-domaine en sélectionnant les méthodes et outils d'analyse et de spécification les mieux adaptés parmi ceux préconisés pour le domaine (Figure 5-7, p. 96) ;
- de concevoir, à partir du modèle de connaissance du domaine présenté dans le chapitre 6, un modèle générique de connaissance du sous-domaine qui soit instanciable sur tout système de ce sous-domaine ;
- de définir un ensemble de règles de passage du modèle de connaissance au modèle d'action : ces règles sont génériques pour tous les modèles d'action dont l'architecture de l'environnement logiciel et les formalismes utilisés sont identiques;
- d'utiliser, pour la conception des modèles d'action, une bibliothèque de composants logiciels, présentée dans le chapitre 6, et réutilisables pour l'ensemble du domaine en la complétant par la création d'une bibliothèque de composants logiciels générique au sous-domaine étudié et instanciables sur tout système de ce sous-domaine ;
- d'alimenter, à partir du modèle d'action, un modèle de résultats qui réponde aux problématiques du domaine en reprenant les principaux indicateurs que nous avons défini dans le modèle de résultats du domaine (chapitre 6) et qui peuvent être complétés et adaptés pour tenir compte des spécificités du sous-domaine.

La conception du modèle générique de connaissance du sous-domaine se fait en plusieurs étapes :

- la sélection des entités et règles de gestion du MGC du domaine ;
- la spécialisation de ces entités ;
- la spécification du comportement des entités et des règles de gestion.

L'identification et la ***sélection*** des entités du système consistent à retenir, dans le modèle générique de connaissance du domaine, les différentes entités (ou classes) et règles de gestion nécessaires pour concevoir le modèle de connaissance du sous-domaine étudié. Elles se font principalement au regard du niveau de modélisation et des critères de performances souhaités.

La ***spécialisation*** est une démarche descendante qui consiste à capturer les particularités d'un ensemble d'objets, non discriminés par les classes déjà identifiées. Elle consiste à étendre les propriétés d'une classe, sous forme de sous-classes plus spécifiques et permet l'extension du modèle par réutilisation. Comme nous le verrons dans le chapitre 6, le modèle de connaissance du domaine est réalisé à un niveau d'abstraction moyen. Une spécialisation de ses entités est donc nécessaire si l'on veut pouvoir tenir compte de l'ensemble des spécificités de chaque sous-domaine. Cette spécialisation permet de donner les principales relations d'héritage des entités du sous-domaine.

La ***spécification*** du comportement des entités et des règles de gestion propres au sous-domaine permet de compléter cette « vue statique » et apporte une vue « dynamique » du sous-domaine étudié en tenant compte des caractéristiques propres à chaque sous-domaine.

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la méthodologie ASCI ainsi que l'instanciation que nous en faisons sur le domaine des systèmes hospitaliers que nous nommons ASCI-SH.

Avec ASCI-SH, nous proposons une démarche globale qui permet l'enchaînement des différentes étapes depuis la formalisation de la connaissance jusqu'à la conception d'outils d'aide à la décision nous permettant ainsi de répondre à une des problématiques pour laquelle nous n'avions pas trouvé de réponses dans l'étude de la littérature.

Afin d'unifier et de résoudre les problèmes de modélisation et d'optimisation des systèmes hospitaliers, nous avons donné avec ASCI-SH un cadre de modélisation qui préconise un ensemble de formalismes pour les différentes étapes de notre méthodologie.

Dans le même souci d'unification, nous avons ensuite détaillé les différentes étapes de la mise en œuvre de ASCI-SH sur les sous-domaines. Ces étapes sont les mêmes, quel que soit le sous-domaine étudié et permettent pour la conception des modèles de connaissance, d'action et de résultats du sous-domaine, de bénéficier largement de la généricité et de la réutilisabilité des modèles et composants logiciels conçus pour le domaine et présentés dans le chapitre suivant.

Chapitre 6

Modélisation du domaine avec ASCI-SH

Sommaire

1. Introduction

Dans les trois premiers chapitres, nous avons identifié les principales spécificités et problématiques propres au domaine des systèmes hospitaliers.

Dans un souci d'unification et de résolution des problèmes de modélisation et d'optimisation des systèmes hospitaliers, nous avons identifié deux principaux besoins qui sont :

- pouvoir s'appuyer sur une démarche globale qui permette l'enchaînement des étapes de la formalisation de la connaissance à la production d'outils d'aide à la décision ;
- trouver des outils et langages permettant de prendre en compte les spécificités et la complexité des systèmes hospitaliers (parcours non linéaires, composition des équipes…), de communiquer facilement avec les équipes hospitalières, et qui puissent facilement s'intégrer dans cette démarche.

Un aperçu de la littérature nous a permis de faire ressortir le caractère souvent trop dédié des méthodes, outils et langages existants et avec lesquels nous n'avons pas réussi à modéliser la complexité des systèmes étudiés. Nous avons donc proposé LAESH, un Langage d'Analyse et d'Étude des Systèmes Hospitaliers, présenté dans le quatrième chapitre.

Cet état de l'art a également permis d'identifier la méthodologie ASCI comme étant appropriée pour proposer une démarche globale allant de la formalisation de la connaissance de systèmes complexes à la conception d'outils d'aide à la décision, tout en laissant aux concepteurs une grande liberté quant au méthodes, outils et langages utilisés à chaque étape.

Dans le cinquième chapitre, nous avons présenté ASCI et proposé son instanciation sur le domaine des systèmes hospitaliers que nous avons nommé ASCI-SH et pour laquelle nous avons défini un ensemble de langages et d'outils permettant de prendre en compte les spécificités du domaine.

Dans ce chapitre nous mettons en œuvre ASCI-SH sur le domaine des systèmes hospitaliers.

Dans la deuxième section, nous construisons le modèle générique du domaine des systèmes hospitaliers avec ASCI-SH. Nous nous intéressons à la décomposition systémique du domaine (2.1) avant de détailler la spécification des règles de gestion et du comportement des entités (2.2).

Dans la troisième section, nous nous intéressons à la problématique de la composition des équipes que nous avons identifiée comme un problème nouveau et difficile et pour lequel nous proposons deux formalisations auxquelles correspondent deux composants logiciels. La première solution tient compte des secteurs d'affectation et zones d'intervention des ressources humaines (3.1). La seconde prend également en compte la notion de « compétence » intrinsèque à chaque ressource (3.2).

Nous présentons ensuite dans la quatrième section la conception d'une bibliothèque de composants logiciels pour le domaine. Nous expliquons la dérivation du diagramme de classes d'analyse en diagramme de classes de conception (4.1) avant de donner la bibliothèque des composants et d'en détailler deux exemples en annexe.

Nous proposons dans la cinquième section un modèle de résultats pour le domaine des systèmes hospitaliers.

2. La conception du modèle générique du domaine des systèmes hospitaliers

2.1. L'Analyse et la décomposition systémique du domaine

Notre objectif est de réaliser un modèle générique de connaissance du domaine des systèmes hospitaliers qui puisse être instancié sur l'ensemble des systèmes étudiés en vue de réaliser des outils d'aide à la décision pour les managers hospitaliers. A partir d'une même démarche, nous souhaitons donc représenter les systèmes étudiés selon différents niveaux d'abstraction afin de ne pas être limités, ni dans les méthodes à utiliser pour la conception d'outils d'aide à la décision, ni dans les résultats que l'on peut obtenir.

Nous choisissons de modéliser les entités du système au niveau microscopique. Il est possible de passer d'une modélisation microscopique à une modélisation mesoscopique ou macroscopique (même si cela engendre, la plupart du temps, une perte d'informations) alors que le schéma inverse est beaucoup plus complexe, voire impossible, sans un nouveau travail de recueil et de formalisation.

Nous donnons la décomposition du domaine des systèmes hospitaliers en trois sous systèmes communicants sous la forme d'un diagramme de classes d'analyse UML (Figure 6-1). Chaque entité est représentée sous la forme d'une classe dont les attributs reprennent ses spécificités. Les entités du sous-système décisionnel (SSD) définissent et mettent en œuvre les règles de gestion concernant l'activité, les ressources et l'ensemble des flux en prenant en compte les contraintes. Pour cela, il leur faut une certaine visibilité sur ces éléments. Les sous-systèmes physique (SSP) et logique (SSL) vont donc faire remonter au sous-système décisionnel l'information concernant l'utilisation des ressources, l'activité, les flux.

Nous détaillons la lecture du diagramme de classes d'analyse de la Figure 6-1 en analysant chacune des classes et chacune des liaisons.

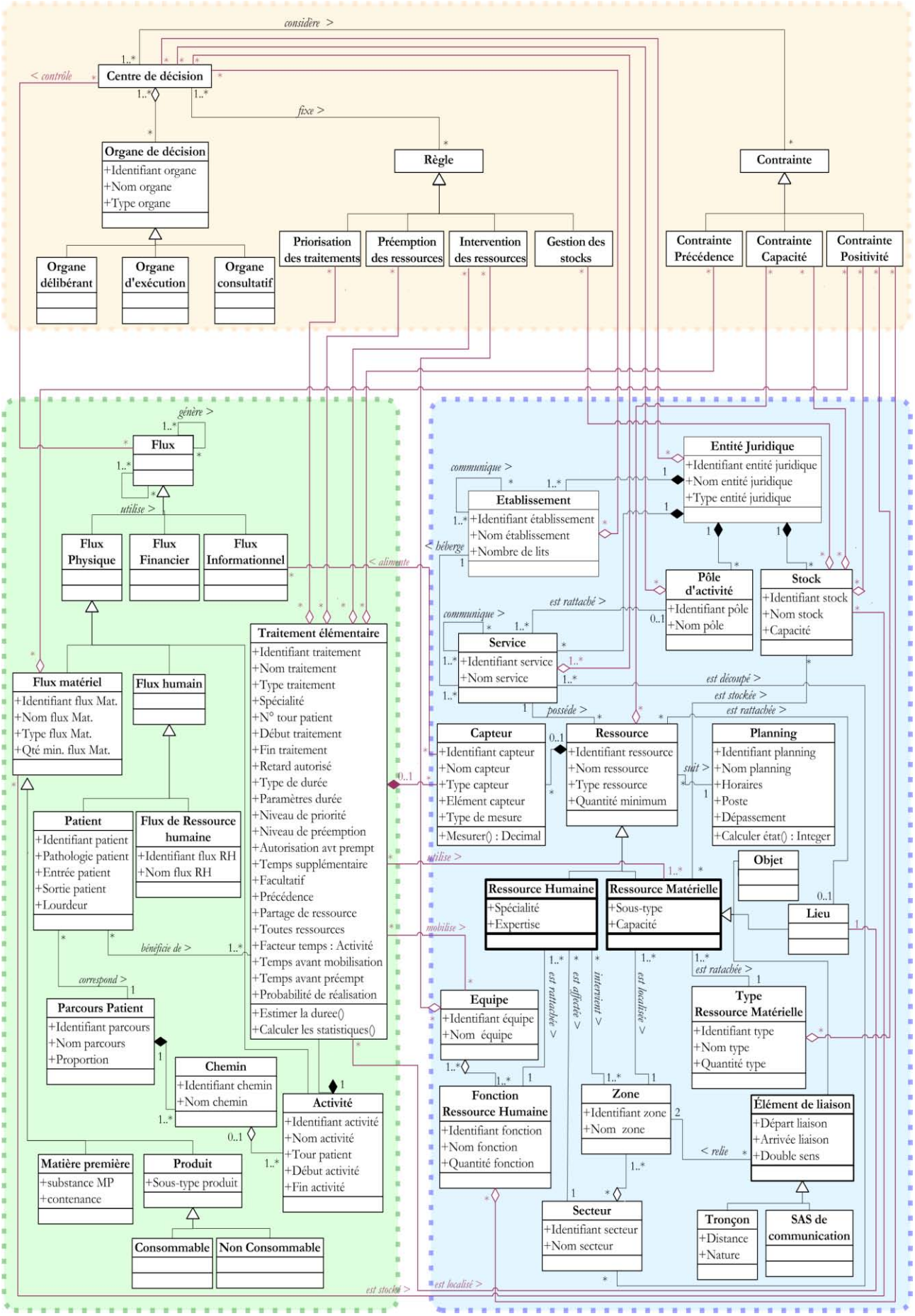


Figure 6-1. Décomposition systémique du domaine : diagramme de classes d'analyse

2.1.1. Le Sous-Système Physique

Le sous-système physique est représenté par l'entité juridique, les éléments physiques ainsi que les ressources qui la composent.

2.1.1.a. La classe « Entité juridique »

Une brève définition de l'entité juridique est donnée dans le chapitre 1. Les attributs de cette classe sont un identifiant, un nom et un type (CHU, clinique…).

Une entité juridique *est composée* de un à plusieurs établissement(s), de zéro à plusieurs pôle(s) d'activité, de un à plusieurs service(s), de zéro à plusieurs stock(s) et de zéro à plusieurs centre(s) de décision (SSD).

2.1.1.b. La classe « Établissement »

Comme pour l'entité juridique, nous avons expliqué la notion d'établissement dans le chapitre 1. Les attributs de cette classe sont un identifiant, un nom et un nombre de lits (permettant généralement de « classer » un établissement par rapport aux autres).

Un établissement *entre dans la composition* d'une entité juridique et *héberge* un à plusieurs services(s). Un établissement *communique* ou non avec d'autres établissements. Un établissement *est composé* de zéro à plusieurs centre(s) de décision (SSD).

2.1.1.c. La classe « Pôle d'activité »

La notion de pôle a également été introduite dans le chapitre 1. Les attributs de cette classe sont un identifiant et un nom.

Un pôle d'activité *entre dans la composition* d'une entité juridique et *est composé* de zéro à plusieurs centre(s) de décision (SSD). A un pôle d'activité *est (sont) rattaché(s)* un à plusieurs service(s).

2.1.1.d. La classe « Service »

Un service peut être vu comme un département ou une branche d'activité d'un établissement. Les attributs de la classe « Service » sont un identifiant et un nom.

Un service *entre dans la composition* d'une entité juridique, *est rattaché* ou non à un pôle d'activité, *est hébergé* par un établissement, *possède* zéro à plusieurs ressource(s) et *est découpé* en zéro à plusieurs secteur(s). Un service *communique* ou non avec d'autres services. Un service *est composé* de zéro à plusieurs centre(s) de décision (SSD).

2.1.1.e. La classe « Stock »

Les stocks représentent l'ensemble des biens, propriété de l'entité juridique, qui interviennent dans le cycle de production de soins pour être : soit utilisés en l'état ou au terme d'un processus de production à venir ou en cours ; soit directement consommés. Les attributs de la classe « Stock » sont un identifiant, un nom et une capacité.

Un stock *entre dans la composition* d'une entité juridique, *stocke* zéro à plusieurs ressources(s) matérielle(s) [*] et zéro à plusieurs flux matériel (SSL). Un stock *est composé* de zéro à plusieurs contrainte(s) de positivité, de zéro à plusieurs contrainte(s) de capacité et de zéro à plusieurs règle(s) de gestion des stocks (SSD).

2.1.1.f. La classe « Ressource »

Les ressources peuvent être modélisées selon différents niveaux d'agrégation. La classe « Ressource » permet de les modéliser au niveau macroscopique, en faisant par exemple

uniquement la distinction entre les ressources matérielles et les ressources humaines modélisées de manière globale. Au niveau mesoscopique, nous introduisons ***les classes « Type Ressource Matérielle » et « Fonction Ressource Humaine »*** qui permettent une modélisation agrégée des ressources. Leurs attributs sont limités à un identifiant, un nom et une quantité. Au niveau microscopique, ce sont *les classes « Ressource Matérielle » et « Ressource Humaine »* qui permettent de prendre en compte les spécificités de chacune des ressources.

A une fonction de ressource humaine *est (sont) rattachée(s)* une à plusieurs ressource(s) humaine(s) et à un type de ressource matérielle *est (sont) rattachée(s)* une à plusieurs ressource(s) matérielle(s). Une fonction de ressource humaine *entre dans la composition de* une à plusieurs équipe(s). Une fonction de ressource humaine *est composée* de zéro à plusieurs contrainte(s) de positivité et un type de ressource matérielle *est composé* de zéro à plusieurs contrainte(s) de positivité (SSD).

Les ressources humaines et matérielles ont un ensemble d'attributs communs regroupés dans la classe « Ressource » et quelques attributs spécifiques qui apparaissent dans les classes « Ressource Humaine » et « Ressource Matérielle ».

Les attributs de la classe « Ressource » sont :

- un identifiant ;
- un nom ;
- un type de ressource (humaine ou matérielle) ;
- une quantité minimum nécessaire au fonctionnement du système.

Une ressource *est possédée* par un service et *suit* un planning. Une ressource *est rattachée* ou non à un lieu, *est composée* de zéro à plusieurs capteur(s) et de zéro à plusieurs contrainte(s) de capacité (SSD).

Les attributs de la classe « Ressource Humaine » sont ceux hérités de la classe « Ressource ».

Une ressource humaine *est rattachée* à une fonction ressource humaine et *est affectée* à un secteur et *intervient* dans une à plusieurs zone(s).

Les attributs spécifiques à la classe « Ressource Matérielle » sont un sous-type de ressource matérielle et une capacité.

Une ressource matérielle *est rattachée* à un type de ressource matérielle, *est localisée* dans une zone, *est stockée* dans zéro à plusieurs stock(s) et *est utilisé* dans zéro à plusieurs traitement(s) élémentaire(s) (SSL).

La classe « Ressource Matérielle » est spécialisée en plusieurs classes : « Objet », « Lieu » et « Élément de Liaison ».

- **Les classes « Objet » et « Lieu » héritent des attributs de la classe « Ressource Matérielle »**

  A un lieu, *est (sont) rattachée(s)* zéro à plusieurs ressource(s). Un lieu *localise* zéro à plusieurs traitement(s) élémentaire(s) (SSL).

- **La classe « Élément de Liaison »**

  Afin de tenir compte du routage des patients comme de celui des ressources, nous introduisons une classe « Élément de Liaison » qui hérite des attributs de la classe « Ressource Matérielle ».

  Les attributs de la classe « Élément de Liaison » sont le lieu de départ, le lieu d'arrivée et un indicateur permettant de savoir si l'élément de liaison est à double sens ou non.

  Un élément de liaison *relie* deux zones entre elles.

La classe « Éléments de liaison » est spécialisée avec les classes « SAS de communication » et « Tronçons ». Les SAS de communication représentent les « portes » qui séparent le système en différentes zones géographiques avec quelquefois des niveaux d'asepsie (ou d'hygiène) différents. Nous pouvons citer l'exemple des SAS entre la zone opératoire (salles d'opérations) et la zone de réveil (salles de réveil). Les tronçons permettent d'exprimer les distances entre deux points du système ainsi que les règles de circulation. Les attributs spécifiques à la classe « Tronçon » sont la distance du tronçon et sa nature (couloir, escalier, ascenseur...).

2.1.1.g. La classe « Planning »

Chaque ressource suit un planning qui représente les heures de fonctionnement ou d'ouverture pour une ressource matérielle et les heures de présence pour une ressource humaine. Les attributs de cette classe sont :

- un identifiant ;
- un nom ;
- des horaires de présence (ensemble de nombre donnant, en minutes, l'enchaînement des périodes d'inactivité et d'activité du planning. La somme de ces périodes sera égale à la période totale considérée : par exemple, 10 080 minutes pour le planning d'une semaine de 7 jours) ;
- un nom de poste horaire correspondant (matin, soir, jour, nuit, 24/24…) ;
- un temps autorisé de dépassement donnant, en minutes, la souplesse que l'on donne à chaque période d'activité (les ressources pourront terminer l'activité en cours pendant cette période sans que cela soit considéré comme des heures supplémentaires, mais ne commenceront pas de nouvelle activité). Passé ce délai, le délai, l'activité sera considérée en heures supplémentaires.

Un planning *est suivi* par zéro à plusieurs ressource(s).

La méthode locale « Calculer état » permet de calculer à tout instant *t* si le planning est actif.

2.1.1.h. La classe « Zone »

Nous avons introduit la notion de zone d'intervention dans laquelle sont localisées une à plusieurs ressource(s) matérielle(s) et où peuvent intervenir une à plusieurs ressource(s) humaine(s). La classe « Zone » permet de modéliser les lieux (ressources matérielles) selon différents niveaux d'abstraction :

- au niveau macroscopique, la zone représente le système dans sa globalité ;
- au niveau mesoscopique, la zone peut correspondre à un ensemble de ressources matérielles, comme un ensemble de chambres, de lits, ou de lieux, par exemple ;
- au niveau microscopique, une zone est identifiée par ressource matérielle.

Cette notion permet également, au niveau de détail le plus fin de remédier aux problèmes de modélisation posés par les chevauchements de secteurs.

Les attributs de la classe « Zone » sont un identifiant et un nom.

Dans une zone *intervient (interviennent)* zéro à plusieurs ressource(s) humaine(s) et *est (sont) localisée(s)* une à plusieurs ressource(s) matérielle(s). Une zone *entre dans la composition* de zéro à plusieurs secteur(s) et *est reliée* par zéro à plusieurs élément(s) de liaison.

2.1.1.i. La classe « Secteur »

Nous avons défini le secteur comme le regroupement géographique des lieux (ressources matérielles) auxquelles une ressource peut être affectée. Dans une unité de soins, par exemple, un secteur pourra représenter un ensemble de chambres sous la responsabilité d'une ressource humaine affectée à ce secteur. Les attributs de cette classe sont un identifiant et un nom.

Un secteur *est composé* de une à plusieurs zone(s) et à un secteur *est (sont) affectée(s)* zéro à plusieurs ressource(s) humaine(s). Un secteur *fait partie du découpage* de un à plusieurs service(s).

2.1.1.j. La classe « Équipe »

Élément important dans les systèmes hospitaliers, la notion d'équipe est définie comme le regroupement de une à plusieurs ressource(s) humaine(s) pour réaliser un traitement élémentaire. Les attributs de la classe « Équipe » sont un identifiant et un nom.

Une équipe *est composée* de une à plusieurs fonction(s) de ressource humaine et *est mobilisée(s)* par zéro à plusieurs traitement(s) élémentaire(s) (SSL). Une équipe *est composée* de zéro à plusieurs règle(s) d'intervention des ressources (SSD).

2.1.1.k. La classe « Capteur »

Afin de permettre la mesure et la communication des données entre les trois sous systèmes, nous introduisons la notion de capteur. Un capteur est un dispositif de mesure directe et instantanée qui collecte des informations destinées au sous-système décisionnel. La valeur donnée par le capteur est une composante du vecteur d'état du système modélisé. Il peut fournir une indication sur l'état de n'importe quelle entité, par exemple libre ou occupée. Les attributs de la classe « Capteur » sont :

- un identifiant ;
- un nom ;
- un type (capteur de mesure d'activité, capteur d'état d'occupation…) ;
- l'élément auquel est rattaché le capteur ;
- un type de mesure (somme, moyenne, pourcentage, état…).

La méthode locale « Mesurer » rattachée à la classe capteur permet la mesure des données concernant chaque élément auquel est rattaché le capteur (durée effective, ressources mobilisées…).

Un capteur *entre dans la composition* de zéro à une ressource et de zéro à un traitement élémentaire (SSL). Un capteur alimente zéro à plusieurs flux informationnel(s) (SSL).

2.1.2. Le Sous-Système Logique

Le sous système logique regroupe l'ensemble des flux qui traversent le système. Nous identifions trois types de flux : physique, informationnel et financier.

Un à plusieurs flux *utilise* zéro à plusieurs flux et *génère* zéro à plusieurs flux. Un flux *est contrôlé* par zéro à plusieurs centre(s) de décision.

2.1.2.a. Les flux physiques

Les flux physiques sont composés de flux d'activité, de flux humains (patients, ressources humaines) et de flux matériels (produits, matières premières).

- **Les flux d'activité**

Nous introduisons la notion de traitement élémentaire et nous définissons l'activité comme un ensemble de traitement élémentaires atomiques (i.e. indécomposables).

- **Les attributs de la classe « Activité »** sont un identifiant, un nom, un numéro éventuel de tour patient (si l'activité correspond à un tour patient), une date de début et une date de fin.

Une activité *est composée* de un à plusieurs traitement(s) élémentaire(s) et *entre dans la composition,* ou non, d'un parcours patient.

- **Les attributs de la classe « Traitement élémentaire »** sont :

- un identifiant ;
- un nom ;
- un type de traitement (soin direct, …) ;
- une éventuelle spécialité médicale ou chirurgicale de rattachement ;
- un numéro éventuel de tour patient auquel doit être rattaché le traitement élémentaire *i* (est-ce que cette activité doit être intégrée dans l'une des tournées réalisées quotidiennement par les soignants dans les unités de soins ?) *;*
- une date au plus tôt r_i de début du traitement *i ;*
- une date au plus tard d_i de fin du traitement *i* ;
- un temps l_i de retard maximum autorisé après la date de fin au plus tard ;
- un type de durée (constant, loi de distribution…) ;
- des paramètres permettant le calcul de la durée ;
- un niveau de priorité ;
- un niveau de préemption (cette activité peut-elle être interrompue pour que les ressources en effectuent une autre, plus prioritaire ? si c'est le cas, et s'il y a différents niveaux de priorité, quel écart faut-il atteindre entre la priorité de l'activité courante et celle de l'activité qui cherche à préempter les ressources, pour que l'activité courante soit interrompue ?) ;
- un temps autorisée aut_i pour finir le traitement *i* avant préemption des ressources humaines
- un temps supplémentaire prs_i pour finir le traitement *i* après préemption ;
- une indication permettant de préciser si le traitement est facultatif (par exemple : une activité ludique dans une unité de soins pédiatrique) ;
- des contraintes de précédence (regroupant la ou les activité(s) qui doivent être réalisées pour que l'activité courante puisse être, à son tour, réalisée) ;
- une indication permettant de préciser si l'équipe peut être partagée sur d'autres traitements en parallèle ;
- une indication permettant de préciser si toutes les ressources humaines du type demandé doivent être mobilisées pour réaliser le traitement *i* (par exemple, pour une activité comme la relève qui doit réunir tous les membres de l'équipe soignante pour faire un bilan sur l'état des patients) ;
- le facteur déterminant le temps supplémentaire pour réaliser le traitement selon l'équipe qui la réalise ;
- un temps m_i avant mobilisation de ressources d'autres secteurs pour le traitement *i ;*
- un temps pr_i avant de préempter des ressources occupées pour le traitement *i ;*

- une éventuelle probabilité p_i de réalisation.

Un traitement élémentaire *mobilise* zéro à plusieurs équipe(s) et *utilise* une à plusieurs ressource(s) matérielle(s). Un traitement élémentaire *entre dans la composition* d'une activité et *est composé* ou de zéro à plusieurs capteur(s). Un traitement élémentaire *est localisé* dans un lieu (SSP) et est réalisé ou non au bénéfice d'un patient. Un traitement élémentaire *est composé* de zéro à plusieurs règle(s) de priorisation des traitements, de zéro à plusieurs règle(s) de préemption des ressources, de zéro à plusieurs règle(s) d'intervention des ressources et de zéro à plusieurs contrainte(s) de précédence (SSD).

Remarque : Les dates de début et de fin de chaque traitement élémentaire (r_i *et* d_i), peuvent dépendre du patient et peuvent être données par rapport :

- au début de la journée ;
- au début d'une période (si la journée est découpée en périodes) ;
- à la date d'arrivée du patient ;
- à la date d'occurrence d'un événement quelconque (par exemple, pour une pause, la disponibilité d'une ressource).

Selon le niveau de modélisation souhaité et les objectifs à atteindre, tout ou partie de ces attributs sera utilisée.

Deux méthodes locales sont attachées à la classe « Traitement élémentaire ». La méthode « Estimer la durée » permet de donner la durée du traitement élémentaire *i* calculée selon le type de durée (constant ou variable) et en fonction des paramètres donnés. Cette durée peut ensuite être revue et varier en fonction de l'équipe qui réalise effectivement le traitement. La méthode « Calculer statistiques » permet d'extraire les résultats au niveau le plus fin de description de l'activité (traitement élémentaire).

- **Les flux humains**

Les flux humains sont composés des patients et des ressources humaines qui traversent le système.

Les patients traversent le système en générant un certain nombre d'activités. Ils représentent le principal « client » des systèmes hospitaliers.

Pour l'aspect dynamique de l'activité, nous introduisons la notion de « Parcours Patient » que nous définissons comme étant l'ensemble des activités dont peut bénéficier un patient de son entrée dans le système à sa sortie. Un « Parcours Patient » est composé de un à plusieurs « Chemin(s) » possibles. Nous définissons un chemin comme étant la liste ordonnée des activités dont bénéficie effectivement le patient de son entrée à sa sortie du système. Un chemin est donc linéaire et se compose d'une à plusieurs activités. La classe « Parcours Patient » permet de faire varier le niveau de modélisation choisi pour le patient :

- au niveau macroscopique, tous les patients sont représentés par un unique parcours ;
- au niveau microscopique, à chaque patient correspond un parcours ;
- au niveau intermédiaire (mesoscopique), le parcours représente un ensemble de patients (par exemple : ayant la même pathologie ou les mêmes traitements).

Concernant les ressources humaines, certaines ressources humaines traversent le système, sans lui appartenir. Elles ne font donc pas partie du sous-système physique mais sont rattachées au sous-système logique. C'est le cas des ressources humaines mutualisées et externalisées telles qu'elles sont définies dans le Chapitre 2 (2.2.2. Les caractéristiques liées aux ressources humaines et matérielles).

Nous donnons ci-dessous les attributs et liaisons des différentes classes rattachées aux flux humains :

- **Les attributs de la classe « Parcours Patient »** sont un identifiant, un nom et une proportion.

Chaque parcours *est composé* de un à plusieurs chemin(s), et à un parcours *correspond(ent)* zéro à plusieurs patient(s).

- **Les attributs de la classe « Chemin »** sont un identifiant et un nom.

Chaque chemin *est composé* de une à plusieurs activité(s) et *entre dans la composition* d'un parcours patient.

- **Les attributs de la classe « Patient »** sont :

- un identifiant ;
- une pathologie ;
- une date E_p d'entrée du patient p dans le système ;
- une date S_p de sortie théorique du patient p du système ;
- un coefficient ld_p correspondant à la gravité du patient p.

A un patient *correspond* un parcours patient. Un patient *bénéficie* d'un à plusieurs traitement(s) élémentaire(s).

- **Les attributs de la classe « Flux de ressource humaine »** sont un identifiant et un nom.

▪ **Les flux matériel**

Les flux matériels sont principalement composés de matières premières et de produits.

Dans les systèmes de production, les matières premières interviennent dans la production des produits intermédiaires et des produits finis. Pour les systèmes hospitaliers, il peut s'agir par exemple de composants chimiques entrant dans la composition de certains médicaments ou encore de l'oxygène et des gaz indispensables au fonctionnement de la structure.

Les flux de produits se spécialisent en produits consommables ou produits non consommables. Les premiers sont, par exemple les médicaments et produits à usage uniques tandis que les seconds représentent les ressources matérielles qui participent au fonctionnement du système sans appartenir exclusivement à celui-ci. Comme pour le flux de ressources humaines, il s'agit des ressources matérielles mutualisées et externalisées. Nous pouvons citer l'exemple de matériel prêté ou loué par des structures extérieures ou encore de matériel mutualisé entre plusieurs services (par exemple, un échographe mobile partagé entre un service de consultation et un bloc opératoire).

Nous donnons ci-dessous les attributs et liaisons des différentes classes rattachées aux flux matériel :

- **Les attributs de la classe « Flux matériel »** sont

- un identifiant
- un nom
- un type (matière première, produit) ;

- une quantité minimum nécessaire au fonctionnement du système.

Un flux matériel *est stocké* dans zéro à plusieurs stocks (SSP) et *est composé* de zéro à plusieurs contrainte(s) de positivité (SSD).

Les attributs spécifiques à la classe *« Matière première »* sont une substance (gaz, liquide) et une contenance.

Les attributs spécifiques à la classe *« Produit »* sont un sous-type (consommable, non-consommable).

2.1.2.b. Flux informationnel

Le flux informationnel regroupe les données et informations circulant dans le système et alimentant le système d'information du système (dossier patient …). Le système d'information contient, à la base, l'ensemble des données administratives et médicales concernant les patients. Selon la Circulaire ministérielle numéro 275 du 6 janvier 1989 du Ministère de la Santé français, le Système d'Information d'un établissement de santé *« [...] peut être défini comme l'ensemble des informations, de leurs règles de circulation et de traitement nécessaires à son fonctionnement quotidien, à ses modes de gestion et d'évaluation ainsi qu'à son processus de décision stratégique ».*

Selon (Ponçon, 2000), *« le système d'information hospitalier est inséré dans l'organisation « hôpital » en perpétuelle évolution ; il est capable, selon des règles et modes opératoires prédéfinis, d'acquérir des données, de les évaluer, de les traiter par des outils informatiques ou organisationnels, de distribuer des informations contenant une forte valeur ajoutée à tous les partenaires internes ou externes de l'établissement, collaborant à une œuvre commune orientée vers un but spécifique, à savoir la prise en charge d'un patient et le rétablissement de celui-ci. ».*

Dans un rapport au Ministre de la santé daté de 2003, le Professeur Fieschi note que les systèmes d'information des hôpitaux concernent le plus souvent et essentiellement des données administratives et que peu nombreux sont les établissements qui ont des systèmes qui vont au-delà des données d'activité. Il montre la nécessité de construire progressivement des systèmes d'information intégrant données médicales et connaissances et propose le schéma d'un système cible du traitement de l'information de santé (Fieschi, 2003). Dans la suite de nos travaux nous ne détaillerons pas plus les flux informationnels. Si nous souhaitons les prendre en compte, il est facile de compléter les classes en rajoutant des attributs.

Un flux informationnel *est alimenté* par zéro à plusieurs capteur(s) et *renseigne* zéro à plusieurs centre(s) de décision.

2.1.2.c. Flux financier

Dans les systèmes hospitaliers, le flux financier représente la contrepartie des autres flux et de l'activité. Les flux vont à la fois être la contrepartie de l'activité réalisée et donc du flux du patient traité (tarification à l'activité, remboursements des mutuelles…) mais ils vont également permettre la réalisation de cette activité en finançant les ressources humaines et matérielles nécessaires, le système d'information… Dans les systèmes hospitaliers, depuis la tarification à l'activité, les systèmes d'information et les flux financiers sont étroitement liés. Dans nos travaux, nous ne nous sommes pas directement intéressés aux flux financiers qui font l'objet d'un travail approfondi réalisé par les contrôleurs de gestion de l'entité juridique.

Chaque flux financier *est contrôlé* par zéro à plusieurs centre(s) de décision.

Nous avons fait le choix de ne pas intégrer ces flux car cela n'entrait pas dans nos objectifs. Toutefois, pour les prendre en compte, il est également facile de rajouter des attributs et des méthodes au diagramme de classes.

2.1.3. Le Sous-Système Décisionnel

Le sous-système décisionnel se compose de centres de décision, de contraintes et de règles de gestion.

2.1.3.a. Centre de décision

Les centres de décision correspondent aux instances médicales et administratives encadrant les systèmes hospitaliers. L'organisation administrative des systèmes hospitaliers et complexe, particulièrement pour les établissements de santé publique (ESP). Ces instances sont nombreuses et peuvent différer selon le statut de l'entité juridique. Différents centres de décisions apparaissent au niveau de l'entité juridique, de l'établissement du pôle d'activité et du service. L'Annexe II donne la définition des éléments composant le centre de décision qui encadre l'entité juridique.

Un centre de décision *est composé* de zéro à plusieurs organe(s) de décision, *considère* zéro à plusieurs contrainte(s) et *fixe* zéro à plusieurs règle(s). Un centre de décision *entre dans la composition* de zéro à plusieurs entité(s) juridique(s), de zéro à plusieurs établissement(s), de zéro à plusieurs pôle(s) d'activité et de zéro à plusieurs service(s) (SSP). Un centre de décision *contrôle* un à plusieurs flux (SSL).

Un organe de décision peut être spécialisé en organe délibérant (ex : conseil d'administration, conseil de pôle…), organe d'exécution (directeur général, conseil exécutif, directeur d'établissement, chef de pôle…) ou organe consultatif (commission médicale d'établissement, conseil de pôle…).

- ***Les attributs des classes « Organe de décision »,* sont** un identifiant, un nom et un type (délibérant, exécution, consultatif).

  Un organe de décision *entre dans la composition* d'un à plusieurs centre(s) de décision.

2.1.3.b. Contraintes

Les principales contraintes trouvées dans les systèmes hospitaliers sont :

- des contraintes de positivité (*exemple* : le stock de médicament doit être positif) ;
- des contraintes de capacité (*exemple* : une salle d'attente est limitée à un certain nombre de places) ;
- des contraintes de précédence (*exemple* : l'anesthésie du patient doit être réalisée avant son intervention chirurgicale).

- **Contraintes de positivité**

Une contrainte de positivité *entre dans la composition* de zéro à plusieurs stock(s), de zéro à plusieurs fonctions(s) de ressource humaine, de zéro à plusieurs type(s) de ressource matérielle (SSP) et de zéro à plusieurs flux matériel (SSL).

- **Contraintes de capacité**

Une contrainte de capacité *entre dans la composition* de zéro à plusieurs stock(s), de zéro à plusieurs de ressource(s)(SSP) et de zéro à plusieurs flux matériel (SSL).

- **Contraintes de précédence**

Une contrainte de précédence *entre dans la composition* de zéro à plusieurs traitement(s) élémentaire(s)(SSL).

2.1.3.c. Règles de gestion

Les règles de gestion dans les systèmes hospitaliers sont souvent nombreuses et complexes. Nous les classons en quatre grandes catégories :

- gestion des stocks (exemple : les brancardiers prennent le matériel dans le stock le plus prêt de leur lieu de prise en charge du patient) ;
- intervention des ressources (exemple : les ressources sont utilisées principalement dans leur secteur d'affectation) ;
- préemption des ressources (exemple : les ressources humaines peuvent interrompre une activité pour réaliser une autre activité de priorité plus importante) ;
- priorisation des traitements (exemple : les traitements de soins directs (liées au patient) sont prioritaire par rapport au autres).

- **Gestion des stocks**

Une règle de gestion des stocks *entre dans la composition* de zéro à plusieurs stock(s) (SSL).

- **Intervention des ressources**

Une règle d'intervention des ressources *entre dans la composition* de zéro à plusieurs traitement(s) élémentaire(s) (SSL) et de zéro à plusieurs équipe(s) (SSP).

- **Préemption des ressources**

Une règle de préemption des ressources *entre dans la composition* de zéro à plusieurs traitement(s) élémentaire(s) (SSL).

- **Priorisation des traitements**

Une règle de priorisation des traitements *entre dans la composition* de zéro à plusieurs traitement(s) élémentaire(s) (SSL).

Après les avoir définies, nous donnons les spécifications des règles de gestion et du comportement des entités.

2.2. La spécification des règles de gestion du domaine et du comportement des entités

2.2.1. La spécification des règles de gestion

Nous donnons les principales règles de gestion que nous avons identifiées avec les équipes médicales et para médicales comme étant les plus fréquentes dans les différents systèmes hospitaliers. Les règles de gestion peuvent être :

- génériques pour le domaine des systèmes hospitaliers ;
- génériques pour un sous-domaine ;
- spécifique au système étudié.

Les règles de gestion concernent les quatre catégories définies lors de la présentation du sous-système décisionnel sont :

- la gestion des stocks ;
- l'intervention des ressources,
- la préemption des ressources ;
- la priorisation des traitements.

2.2.1.a. Gestion des stocks

- **Règle N°1**

Si un traitement élémentaire *i* utilise une ressource matérielle en stock, cette ressource matérielle sera prioritairement prise dans un stock du même secteur que celui dans lequel se déroule le traitement *i*.

- **Règle N°2**

Les stocks sont gérés selon la règle FIFO (First In, First Out).

2.2.1.b. Intervention des ressources

- **Règle N°3**

Les ressources interviennent prioritairement dans leur secteur d'affectation. Elles peuvent ensuite éventuellement intervenir dans des zones ne faisant pas partie de leur secteur d'affectation.

- **Règle N°4**

Si des ressources humaines disponibles sont appelées dans un autre secteur que leur secteur d'affectation, l'opération *i* appelle les ressources par ordre de proximité de leur localisation. Si plusieurs équipes de ressources distinctes peuvent être appelées pour réaliser le traitement, c'est la dernière équipe de ressources (qui correspond souvent à la plus « allégée ») qui est appelée.

2.2.1.c. Préemption des ressources

- **Règle N°5**

Pour qu'un traitement élémentaire *i* puisse préempter les ressources occupées sur un autre traitement *k,* il faut :

- que la priorité de *i* soit élevée (*[Traitement élémentaire].Niveau de priorité*) ;
- que le traitement *k* autorise la préemption (*[Traitement élémentaire].Niveau de préemption*) ;
- que l'écart de priorité entre les deux traitements pour lequel *k* accepte d'être préempté, soit atteint (*[Traitement élémentaire].Niveau de préemption*).

- **Règle N°6**

Si des ressources humaines, occupées sur un traitement *i*, sont préemptées pour intervenir prioritairement sur un traitement *k*, le traitement *k* qui préempte les ressources appelle prioritairement les ressources utilisées dans des zones de soins non directes (c'est à dire sans patient : bureau, locaux techniques...) puis il appelle les ressources par ordre de proximité de leur zone d'occupation. Si plusieurs équipes de ressources distinctes peuvent être appelées pour réaliser le traitement, c'est la dernière équipe de ressources qui est appelée.

2.2.1.d. Priorisation des traitements

- **Règle N°7**

Un traitement élémentaire *i* est caractérisé par un niveau de priorité (*[Traitement élémentaire].Niveau de priorité*) :

- les traitements élémentaires facultatifs ou ceux n'ayant pas de réelles contraintes horaires ont une priorité faible ;
- par défaut, tous les traitements dont le type est un acte de soins sur le patient ont une priorité moyenne ;
- un traitement devant être réalisé prioritairement par rapport aux autres a une priorité élevée.

- **Règle N°8**

A niveau de priorité égal (*[Traitement élémentaire].Niveau de priorité*), un traitement élémentaire *i* concernant un acte de soins à réaliser sur un patient (*[Traitement élémentaire].Type opération*) est prioritaire par rapport à tout autre traitement élémentaire.

- **Règle N°9**

Si au même instant *t*, deux traitements élémentaires *i* et *j* qui ont une priorité élevée (*[Traitement élémentaire].Niveau de priorité*), et concernent une activité de soins qui doit être réalisée sur des patients (*[Traitement élémentaire].Type opération*), le traitement élémentaire prioritaire sera celui réalisé sur le patient qui a l'indice de lourdeur le plus élevé (*[Patient].Lourdeur*).

2.2.2. La spécification du comportement des entités

La spécification du comportement des entités consiste principalement à formaliser :

- L'ensemble des traitements élémentaires réalisés sur chaque parcours patient selon le chemin suivi. Selon la complexité des parcours étudiés, notamment concernant la formalisation des combinaisons de ressources nécessaires à la réalisation d'un traitement et la prise en compte des règles de gestion, nous avons principalement utilisé le langage UML, pour les parcours simples et LAESH (Langage d'Analyse et d'Étude des Systèmes Hospitaliers), présenté dans le chapitre 4, pour les parcours plus complexes.
- L'ensemble des traitements élémentaires réalisés hors parcours patient par chaque ressource humaine (voire chaque fonction de ressource humaine, selon le niveau de modélisation utilisé). Nous avons choisi de formaliser ces enchaînements de traitements à l'aide de diagrammes d'activité UML.

Comme pour les règles de gestion, il est intéressant de pouvoir spécifier le comportement des entités de manière générique au niveau du sous-domaine fonctionnel. Le passage du modèle générique de connaissance à celui d'un système du domaine se fera ensuite par la sélection des traitements élémentaires réalisés par les ressources humaines hors parcours patient et des parcours patient (voire des chemins) spécifiés pour le sous-domaine. Certains comportements pourront ensuite être formalisés de manière plus spécifique au niveau du système étudié et être ajoutés au modèle de connaissance du système. Nous verrons ces différentes étapes dans la partie 2 de cette thèse lorsque nous nous intéresserons à chaque sous-domaine.

Une fois cette spécification réalisée, nous nous intéressons à la conception de la bibliothèque des composants logiciels qui seront utilisés dans les différents modèles d'action. Avant de nous intéresser à cette bibliothèque, nous étudions dans la troisième section le problème de la composition des équipes.

3. Le problème de la composition des équipes

Dans cette section, nous étudions le problème difficile de l'affectation des ressources pour la composition des équipes chargées de l'exécution d'un traitement élémentaire. Ce problème fait intervenir les règles 3, 4, 5 et 6. Une équipe est constituée d'un ensemble de fonctions de ressource humaine. Une fonction de ressource humaine correspond généralement à un métier (médecin, infirmier…) et à une fonction peuvent être associées plusieurs ressources humaines. Avant de nous intéresser au composant logiciel, qui sera développé dans la quatrième section, nous nous intéressons à la résolution de la problématique liée à l'affectation des ressources humaines aux équipes pour la prise en charge des traitements élémentaires.

Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, ce problème nous est apparu comme nouveau et difficile et nous n'avons pas trouvé dans la littérature, que ce soit pour la modélisation, la spécification ou le développement de composants logiciels, de solution permettant de prendre en compte la complexité de la constitution des équipes en tenant compte de l'ensembles des spécificités propres au domaine des systèmes hospitaliers (multitude et variabilité des secteurs d'affectation, nombreuses règles de gestion croisant secteurs d'affectation et zones d'intervention…). Nous avons vu dans le chapitre 4 comment, à partir du langage LAESH, nous avons réussi à spécifier les combinaisons de ressources possibles pouvant prendre en charge chaque traitement élémentaire. Nous nous intéressons ici à la traduction de ces combinaisons en vue de réaliser des composants logiciels.

Nous proposons deux solutions permettant de répondre à la problématique de composition des équipes :

- la première solution tient compte des contraintes de zones et de secteurs ;
- la seconde intègre, en plus de ces premières contraintes, les compétences intrinsèques à chaque ressource.

Avant de présenter chacune de ces solutions, nous rappelons certains principes exposées lors de l'analyse et la décomposition systémique du domaine (section 2.1, p. 104) :

- une fonction de ressource humaine entre dans la composition de une à plusieurs équipe(s) ;
- une ressource humaine est rattachée à une fonction ressource humaine, est affectée à un secteur et intervient dans une à plusieurs zone(s) ;
- un secteur est composé de une à plusieurs zone(s) ;
- dans une zone est (sont) localisée(s) une à plusieurs ressource(s) matérielle(s) ;
- la classe « Ressource Matérielle » est spécialisée en plusieurs classes : « Objet », « Lieu » et « Élément de Liaison ».

Nous rappelons également que nous avons introduit la notion de « Zone » pour permettre de modéliser les lieux et objets (ressources matérielles) selon différents niveaux d'abstraction :

- au niveau macroscopique, la zone représente le système dans sa globalité ;
- au niveau mesoscopique, la zone peut correspondre à un ensemble de ressources matérielles, comme un ensemble de chambres, de lits, ou de lieux, par exemple ;
- au niveau microscopique, une zone est identifiée par ressource matérielle.

Au niveau microscopique, la notion de zone permet de résoudre les problèmes posés par les chevauchements et la variabilité des secteurs en considérant qu'à chaque lieu (chambre, salle de soins…) ou objet (lit…) est rattachée une zone. Un secteur représente alors un ensemble de zones qui forment une partition. On peut donc considérer qu'une ressource humaine qui est affectée à un secteur est de fait affectée à l'ensemble des zones composant ce secteur.

Exemple : Si l'on reprend la Figure 2-2 (p. 26) qui donne l'exemple d'un découpage en secteurs d'un système composé de 12 chambres, et que l'on essaye graphiquement de représenter les différents secteurs, indépendamment des fonctions des ressources humaines et des plannings, on observe des chevauchements (Figure 6-2).

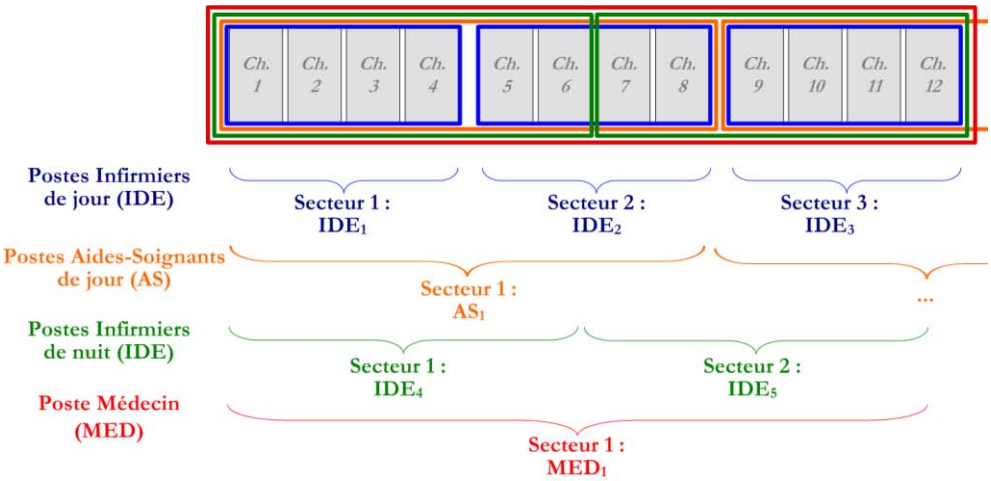


Figure 6-2. Exemple de chevauchements de secteurs

Pour résoudre le problème posé par ces chevauchements, nous avons décidé de modéliser les lieux et objets (ressources matérielles) au niveau microscopique et d'associer ainsi une zone à chaque lieu.

Lorsque qu'une ressource est affectée à un secteur nous pouvons donc considérer qu'elle est affectée à l'ensemble des zones composants ce secteur qui peuvent ne pas être contigües.

Exemple : Si l'on reprend la Figure 6-2, nous identifions 12 zones correspondant aux 12 chambres (z_i=*Ch.*$_i$). Le système est donc composé de 12 zones qui forment une partition et nous considérons que les ressources humaines ne sont plus affectées à un secteur, mais à un ensemble de zones (par exemple, IDE_1 est affectée à $\{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5\}$).

Les solutions que nous proposons consistent à traduire, pour la conception des composants logiciels et des modèles d'action, les combinaisons de ressources telles qu'elles sont spécifiées avec LAESH. Cette traduction doit permettre de tenir compte des secteurs auxquels sont affectés les ressources humaines et des zones dans lesquelles ces ressources peuvent intervenir, voire, si les équipes hospitalières le souhaitent, des compétences ou du niveau d'expertise de chacune des ressources. Comme nous venons de le voir, pour ces solutions, la prise en compte des secteurs se fait donc uniquement grâce aux zones.

Pour chacune des solutions proposées, nous proposons un tableau avec les colonnes suivantes (Figure 6-3) :

- colonne 1, équipe souhaitée pour réaliser le traitement élémentaire telle qu'elle apparaît dans la spécification LAESH ;
- colonne 2, zone sur laquelle est réalisé le traitement élémentaire ;
- colonne 3, combinaison effective des ressources pouvant réaliser le traitement élémentaire en tenant compte de leurs secteurs d'affectation et zones d'intervention ;
- colonne 4, traduction de cette combinaison sous la forme des différentes équipes appelées pour réaliser le traitement élémentaire dans les modèles d'actions.

Équipe souhaitée	Zone de réalisation	Combinaison effective pouvant réaliser le traitement	Traduction de la combinaison des équipes

Figure 6-3. Modèle de tableau pour la combinaison des équipes appelées selon la zone de réalisation

Pour pouvoir réaliser ces tableaux, nous nous appuyons sur la spécification LAESH concernant les ressources humaines nécessaires et la zone sur laquelle se déroule le traitement élémentaire ainsi que sur les matrices d'affectation et d'intervention des ressources humaines sur les secteurs et les zones que nous présentons dans nos exemples.

3.1. Solution 1 - Affectation des ressources avec prise en compte des secteurs et zones

On considère que le système étudié Z comprend *k* zones qui forment une partition.

A chaque ressource *i*, nous associons *k* nombres $b_{i,j}$(où *i* est la ressource et *j* le numéro de zone) :

$$b_{i,1}b_{i,2}\ldots.b_{i,k}$$

- $|b_{i,j}| = 1$ La ressource de type *i* peut intervenir dans la zone Z_j (j=1, 2 … *k*) avec les règles suivantes :

  $b_{i,j} = 1$ Si la ressource *i* est affectée à la zone Z_j.

  $b_{i,j} = -1$ La ressource *i* est utilisable dans la zone Z_j.

- $b_{i,j} = 0$ La ressource *i* ne peut pas intervenir dans la zone Z_j

<u>Remarque</u> : Par défaut, les ressources intervenant principalement dans leur(s) zone(s) d'affectation, $b_{i,j} = 1$ pour chaque zone *j* composant le secteur d'affectation de la ressource *i*.

A partir de la spécification LAESH :

EXEC, F(R, S, T, …), <liste>

et des règles d'affectation et d'interventions de chaque fonction de ressource dans les différentes zones, on doit obtenir la combinaison de ressources effectives permettant de réaliser l'opération.

F(R, S, T, …) est une expression faisant intervenir les fonctions de ressource R, S, T, … et les opérateurs *AND*, *OR* et *XOR*.

<u>Exemple</u> : pour illustrer nos propos, nous prenons l'exemple d'un système découpé en trois zones (k=3), et possédant des ressources humaines appartenant à deux fonctions distinctes R et S. Il y a trois ressources de type R (R_1, R_2 et R_3) et deux ressources de type S (S_1 et S_2). Nous donnons dans le Tableau 6-1 et le Tableau 6-2 les règles d'intervention des ressources dans les zones à l'aide des valeurs $b_{i,j}$ pour chaque ressource *i* de chaque fonction de ressources R et S et chaque zone *j*.

Ressources R

	Z_1	Z_2	Z_3
R_1	-1	1	0
R_2	0	-1	1
R_3	1	-1	0

Tableau 6-1. Solution 1 - Intervention des ressources R_i dans les zones Z_j

Ressources S

	Z_1	Z_2	Z_3
S_1	0	1	-1
S_2	-1	1	-1

Tableau 6-2. Solution 1 - Intervention des ressources S_i dans les zones Z_j

Si un traitement élémentaire fait appel à une équipe composée d'une ressource de type R et d'une ressource de type S, alors, la combinaison effective des ressources humaines appelées dépendra de la zone dans laquelle se déroule le traitement.

Nous donnons dans le Tableau 6-3 les différentes combinaisons effectives pouvant réaliser le traitement selon la zone dans laquelle celui-ci se déroule et les zones dans lesquelles chaque ressource humaine peut ou non intervenir.

Remarque : dans le cas où plusieurs ressources de même fonction ont la même valeur non nulle $b_{i,j}$ (par exemple R_2 et R_3 pour une intervention en Z_2, ou S_1 et S_2 pour une intervention en Z_2 ou Z_3) ; et si aucune règle de gestion ne précise quelle ressource appeler prioritairement, alors les ressources sont appelées dans l'ordre croissant de leur indice.

Équipe souhaitée	Zone de réalisation	Combinaison effective pouvant réaliser le traitement	Traduction de la combinaison des équipes appelées dans les modèles d'action
R AND S	Zone 1	(R_3 XOR R_1) AND S_2	R_3 AND S_2 *XOR* R_1 AND S_2
	Zone 2	(R_1 XOR R_2 XOR R_3) AND (S_1 XOR S_2)	R_1 AND S_1 *XOR* R_1 AND S_2 *XOR* R_2 AND S_1 *XOR* R_2 AND S_2 *XOR* R_3 AND S_1 *XOR* R_3 AND S_2
	Zone 3	R_2 AND (S_1 XOR S_2)	R_2 AND S_1 *XOR* R_2 AND S_2

Tableau 6-3. Solution 1 - Combinaison des équipes appelées selon la zone de réalisation

3.2. Solution 2 - Affectation des ressources avec prise en compte des secteurs, zones et des compétences

Cette deuxième solution est une extension de la première permettant de prendre en compte, outre la fonction, les compétences de chaque ressource humaine.

Pour chaque ressource *i*, nous exprimons la notion de « compétence » ou « expertise » (attribut de la classe de conception *« Ressource Humaine »*) en la représentant par un poids (ancienneté, …). Si le système étudié Z comprend *k* zones qui forment une partition, à chaque ressource *i*, nous associons *k* nombres $b_{i,j}$(où *i* est la ressource et *j* le numéro de zone) :

$$b_{i,1}b_{i,2}\ldots b_{i,k}$$

- $|b_{i,j}| = p$ La ressource de type *i* peut intervenir dans la zone Z_j (j=1, 2 … *k*) avec les règles suivantes :

  $b_{i,j} = p$ Si la ressource *i* est affectée à la zone Z_j avec le poids *p*.

  $b_{i,j} = -p$ La ressource *i* est utilisable dans la zone Z_j avec le poids *p*.

- $b_{i,j} = 0$ La ressource *i* ne peut pas intervenir dans la zone Z_j

Exemple : Soit un système découpé en trois zones (k=3), et possédant des ressources humaines appartenant à deux fonctions distinctes R et S. Il y a quatre ressources de type R (R_1 à R_4) et trois ressources de type S (S_1 à S_3). Nous donnons dans le Tableau 6-4 et le Tableau 6-5 les règles d'intervention des ressources dans les zones à l'aide des valeurs $b_{i,j}$ pour chaque ressource *i* de chaque fonction de ressource R et S et chaque zone *j*.

Ressources R

	Z_1	Z_2	Z_3
R_1	2	0	-3
R_2	1	-3	0
R_3	0	-1	-2
R_4	0	-2	-1

Tableau 6-4. Solution 2 - Intervention des ressources R_i dans les zones Z_j

Ressources S

	Z_1	Z_2	Z_3
S_1	1	2	-1
S_2	-1	-1	0
S_3	0	1	2

Tableau 6-5. Solution 2 - Intervention des ressources S_i dans les zones Z_j

Pour un traitement élémentaire faisant appel à une équipe composée d'une ressource de type R et d'une ressource de type S, le Tableau 6-6 donne les différentes combinaisons effectives pouvant réaliser le traitement selon la zone dans laquelle celui-ci se déroule. Ces combinaisons tiennent compte des zones dans lesquelles chaque ressource humaine peut ou non intervenir associée au poids p lié à ses compétences.

Remarque :

Une règle de gestion peut préciser les préférences pour le développement des combinaisons obtenues. Le développement peut traduire une préférence individuelle (par rapport au poids de la ressource de type R ou à celui de la ressource de type S), ou une préférence moyenne (par rapport au poids de l'équipe composée des deux ressources).

L'expression correspondant à la zone Z_1 peut ainsi s'écrire :

- *Si l'on développe par rapport au poids de la ressource R :*

  (R_1 AND S_1) XOR (R_1 AND S_2) XOR (R_2 AND S_1) XOR (R_2 AND S_2)

  2 1 **2** -1 **1** 1 **1** -1

- *Si l'on développe par rapport au poids de la ressource S :*

  (R_1 AND S_1) XOR (R_2 AND S_1) XOR (R_1 AND S_2) XOR (R_2 AND S_2)

  2 **1** 1 **1** 2 **-1** 1 **-1**

- *Si l'on développe par rapport à la somme des poids de chaque équipe :*

  (R_1 AND S_1) XOR (R_2 AND S_1) XOR (R_1 AND S_2) XOR (R_2 AND S_2)

  3 **2** **1** **0**

En l'absence de règle de gestion, nous considérons que le développement doit être réalisé par rapport au poids de la première ressource composant la combinaison de ressources, puis par rapport au poids de la deuxième ressource, et ainsi de suite pour les équipes comportant plus de deux ressources.

Équipe souhaitée	**Zone de réalisation**	**Combinaison effective pouvant réaliser le traitement**	**Traduction de la combinaison des équipes appelées dans les modèles d'action**
R AND S	Zone 1	(R_1 XOR R_2) AND (S_1 XOR S_2)	R_1 AND S_1 *XOR* R_1 AND S_2 *XOR* R_2 AND S_1 *XOR* R_2 AND S_2
	Zone 2	(R_2XOR R_4 XOR R_3) AND (S_1 XOR S_3 XOR S_2)	R_2 AND S_1 *XOR* R_2 AND S_3 *XOR* R_2 AND S_2 *XOR* R_4 AND S_1 *XOR* R_4 AND S_3 *XOR* R_4 AND S_2 *XOR* R_3 AND S_1 *XOR* R_3 AND S_3 *XOR* R_3 AND S_2
	Zone 3	(R_1 XOR R_3 XOR R_4) AND (S_3 XOR S_1)	R_1 AND S_3 *XOR* R_1 AND S_1 *XOR* R_3 AND S_3 *XOR* R_3 AND S_1 *XOR* R_4 AND S_3 *XOR* R_4 AND S_1

Tableau 6-6. Solution 2 - Combinaison des équipes appelées selon la zone en tenant compte des compétences de chaque ressource

Après avoir proposé nos deux solutions, nous donnons dans en Annexe III le composant logiciel réalisé pour la composition des équipes de ressources humaines tenant compte des contraintes de zones et de secteurs.

4. La conception de la bibliothèque de composants logiciels

La méthodologie ASCI préconise la conception d'une bibliothèque de composants logiciels génériques pouvant être utilisés pour la réalisation des modèles d'action des systèmes du domaine étudié. Comme nous l'avons vu dans le chapitre 5, lors de la présentation d'ASCI-SH, les composants logiciels que nous concevons peuvent être :

- génériques au niveau du domaine ;
- génériques au niveau du sous-domaine ;
- spécifiques au système.

Pour pouvoir concevoir ces composants logiciels, une étape préliminaire de dérivation du diagramme de classe d'analyse en diagramme de classe de conception doit être réalisée. Les composants logiciels représentent les méthodes locales et globales du diagramme de conception ; ils font donc appel aux attributs et aux méthodes des classes de ce diagramme.

Dans une première sous-section, nous présentons et illustrons le concept de dérivation du diagramme de classe d'analyse en diagramme de classe de conception.

Dans une deuxième sous-section, nous donnons la base de composants logiciels génériques réalisés pour le domaine des systèmes hospitaliers et qui peuvent être utilisés pour l'ensemble des sous-domaines étudiés. Afin d'illustrer nos propos, nous présentons dans l'Annexe III deux composants logiciels issus de cette base et représentant des méthodes globales faisant intervenir plusieurs classes du diagramme de conception.

4.1. La dérivation des classes du diagramme de classe d'analyse en classe de conception

La dérivation représente le passage du diagramme de classes d'analyse au diagramme de classes de conception (ou techniques). Pendant cette étape, des attributs et des classes peuvent être modifiés ou ajoutés. Le diagramme de classes de conception dépend des choix de développement fait pour la conception du modèle d'action. Un même diagramme de classes d'analyse représentant la décomposition systémique d'un système donné pourra être traduit en plusieurs diagrammes de classes de conception s'il est utilisé pour concevoir plusieurs modèles d'action à partir de différentes méthodes et outils (par exemple un modèle de simulation d'une part et un modèle mathématique d'autre part). Avec la Figure 6-6 nous donnons la dérivation des principales classes du diagramme d'analyse du domaine en diagramme de classes de conception réalisé pour la conception de composants logiciels et de modèles d'action basés sur des modèles de simulation à événements discrets.

Nous remarquons que :

- Les attributs permettant de spécifier les équipes de ressources humaines qui réalisent le traitement élémentaire ont directement été rattachés à la classe de conception du traitement élémentaire (*« Trait_el »*).

  Les attributs *« nbEqRessH_Trait »* de type entier (integer) et *« combiEqRessH_Trait »* de type tableau (collection) de la classe de conception *« Trait_El »* permettent respectivement de spécifier le nombre d'équipes différentes possibles pour la réalisation du traitement élémentaire et l'ensemble des fonctions de ressource humaine composants ces équipes.

  Nous considérons que :

  - un traitement élémentaire peut nécessiter l'intervention de 1 à *N* équipe(s) ;
  - une équipe est composée de 1 à *M* fonction(s) de ressource humaine (médecin, infirmier…) ;

- *N* et *M* correspondent à des maximums qui sont paramétrables selon le système étudié.

Alors, la taille de l'attribut *« combiEqRessH_Trait »* est *M*x*N* et combiEqRessH_Trait(m,n) donne l'identifiant de la fonction de ressource humaine se situant au rang *m* de l'équipe *n*. Nous illustrons nos propos à l'aide de la Figure 6-4 qui donne la représentation de cet attribut.

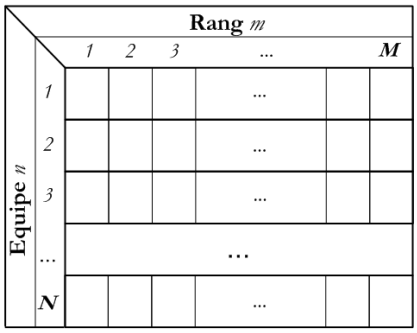


Figure 6-4. Représentation de l'attribut « combiEqRessH_Trait »

Exemple : si l'on reprend l'exemple de la Figure 2-4 du chapitre 2 (p. 32) pour l'activité de césarienne qui nécessite la présence des fonctions de ressource humaine suivantes (pour notre exemple, nous ajoutons à chacune d'elle un numéro correspondant à la valeur de l'attribut d'identifiant *« id_FctRH »* de la classe de conception « *Fonction_RH* ») :

- un Gynécologue Obstétricien(GO) (id_FctRH=3);
- un Infirmier Anesthésiste Diplômé d'État (IADE) (id_FctRH=4) ;
- une Sage-Femme (SF) (id_FctRH=1) ;
- une Sage-Femme de Bloc (SFBO) (id_FctRH=5) ;
- un Infirmier de Bloc (IBO) (id_FctRH=6).

Si une Sage-Femme de Bloc et un Infirmier de Bloc ne sont pas tous les deux disponibles, c'est l'une ou l'autre des fonctions qui complète l'équipe en fonction des disponibilités.

Alors, les valeurs de l'attribut *« combiEqRessH_Trait »* pour le traitement élémentaire correspondant à la césarienne sont données dans la Figure 6-5 (avec M=8, N=5) et permettent d'identifier les trois équipes de fonctions de ressources humaines pouvant prendre en charge ce traitement élémentaire.

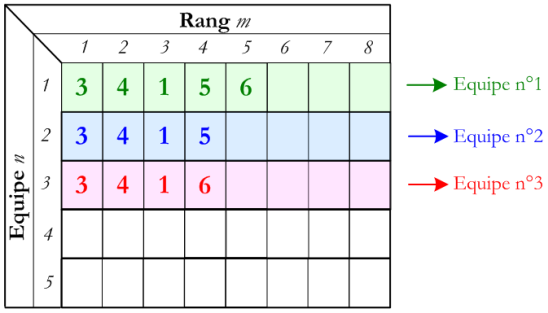


Figure 6-5. Valeurs de l'attribut « combiEqRessH_Trait » pour le traitement élémentaire correspondant à la césarienne

Les autres classes d'analyse qui étaient en liaison avec la classe d'analyse du traitement élémentaire ont également été intégrées dans les attributs de la classe de conception *« Trait_el »* (activité, lieu, ressource matérielle, capteur et patient).

La classe d'analyse « Ressource » a disparu du diagramme de conception pour être directement spécialisée en classes de conception pour les ressources humaines (*« Ress_h »*) et pour les ressources matérielles (*« Ress_m »*). Comme pour le traitement élémentaire, les attributs des classes d'analyse qui étaient liées aux ressources ont directement été intégrés aux attributs des classes de conception *« Ress_h »* et *« Ress_m »*.

Les classes de conception *« Resultat_Trait »*, *« Resultat_RessH »* et *« Resultat_RessM »* ont été créées. Elles permettent le calcul et l'extraction des résultats et représentent les associations entre la classe de conception *« Capteur_ »*, et les classes de conceptions respectives *« Trait_el »*, *« Ress_h »* et *« Ress_m »*.

Les méthodes des classes de conception sont composées, outre des méthodes du diagramme de classe d'analyse, de l'ensemble des composants logiciels. Afin de ne pas surcharger la Figure 6-6, nous nous sommes contentés d'ajouter dans les méthodes des classes de conception, les règles et contraintes définies dans le sous-système décisionnel du diagramme de classes d'analyse et qui interviennent dans la conception de ces composants logiciels. Nous présentons ces composants logiciels et leur intervention en tant que méthode locale ou globale dans la sous-section suivante.

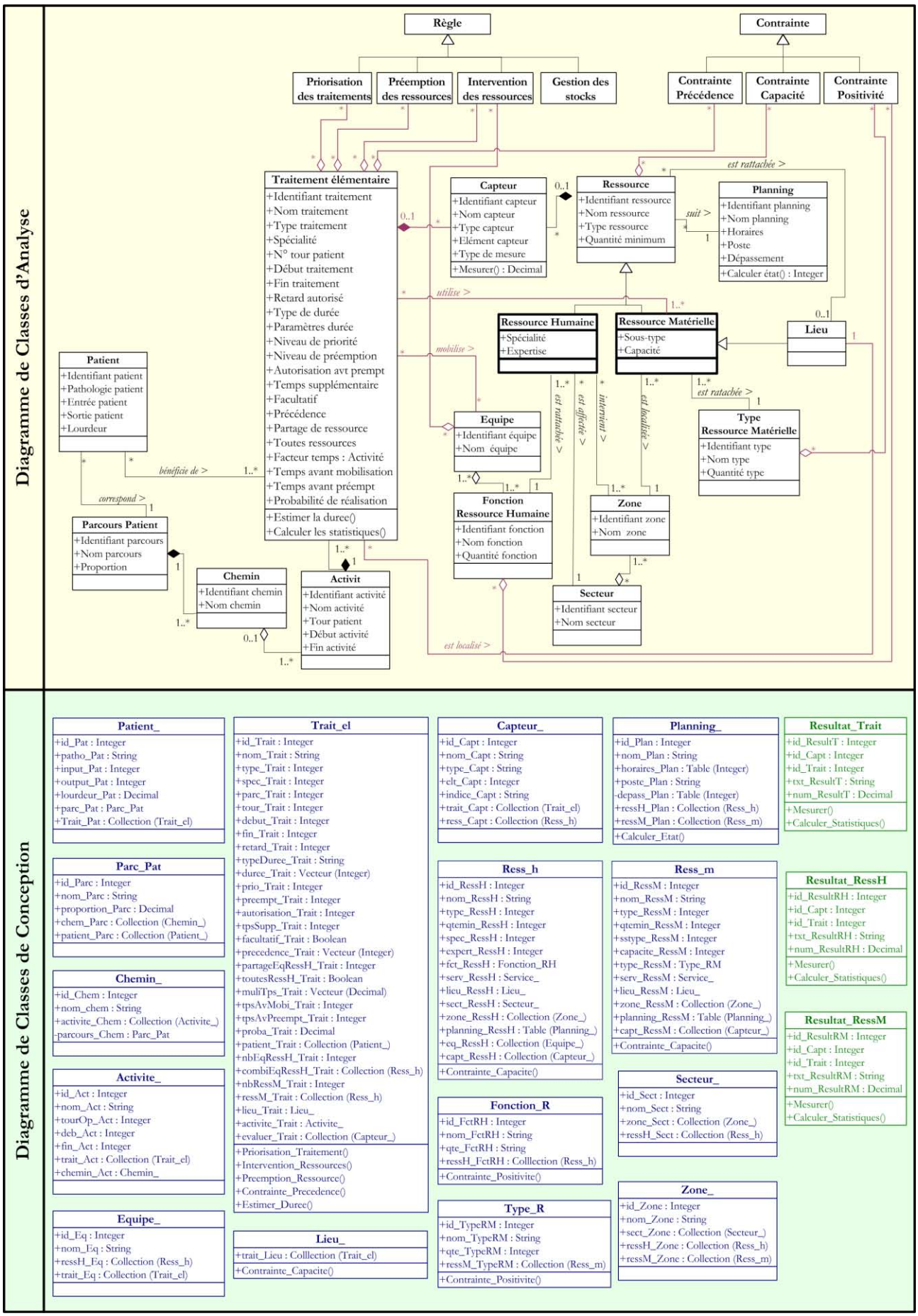


Figure 6-6. Exemple de passage du diagramme d'analyse au diagramme de conception

4.2. La bibliothèque de composants logiciels

La création des composants logiciels consiste à formaliser, à l'aide de diagrammes UML ou sous forme algorithmique, les composants logiciels, indépendamment de l'implémentation qui va en être faite. L'implémentation consistera ensuite à traduire les composants logiciels dans le formalisme choisi pour le modèle d'action (modèle de simulation à événements discrets, modèle mathématique…).

Le Tableau 6-7 donne la liste des principaux composants logiciels du domaine qui ont été conçus puis implémentés dans les modèles d'action réalisés pour l'ensemble des sous-domaines. Nous donnons également les composants créés pour les interfaces reliant ces modèles d'action aux modèles de connaissance et modèles de résultats.

Bien que génériques, ces composants peuvent ou non être utilisés dans chaque sous-domaine, en fonction notamment des objectifs et résultats attendus.

Interfaces Modèles de connaissance → Modèles d'action
Calendrier d'arrivée des patients
Affectation des patients aux lieux et aux jours
Réalisation des plannings horaires des ressources
Affectation des ressources aux plannings et secteurs
Modèles d'action
Constitution des combinaisons de ressources pour la réalisation des traitements élémentaires
Surveillance cyclique d'un patient par une ressource humaine
Surveillance simultanée de plusieurs patients
Recherche de la ressource humaine la plus proche du lieu d'exécution d'un traitement élémentaire
Priorisation des activités en attente et en cours
Accompagnement des patients par les ressources humaines
Changement dynamique de la priorité d'une activité
Préemption des ressources
Estimation de la durée des traitements élémentaires
Interfaces Modèles d'action → Modèles de résultat
Recueil et mise en forme de la trace de la simulation
Calcul et mise en forme des résultats sur les traitements élémentaires et les patients
Calcul et mise en forme des résultats sur les ressources humaines
Calcul et mise en forme des résultats sur les ressources matérielles
Fiche de synthèse de scenario testé
Exportation des résultats au format PDF

Tableau 6-7. Principaux composants logiciels génériques du domaine

Comme nous l'avons vu dans la sous-section 4.1, ces composants logiciels représentent les méthodes du diagramme de conception. Nous donnons dans le Tableau 6-8 les classes de conception dans lesquelles ils interviennent. Comme nous pouvons le voir, la plupart des composants logiciels sont des méthodes globales qui font intervenir plusieurs classes.

Exemples :

- Le composant logiciel pour la priorisation des traitements est une méthode locale de la classes de conception *« Trait_el »*.

- Le composant logiciel pour la surveillance cyclique est une méthode globale qui fait intervenir plusieurs classes de conception, comme nous le verrons lors de sa présentation dans l'Annexe III.

Méthodes locales	
Classe de conception	**Méthodes (composants logiciels)**
Trait_el	• Priorisation des traitements en attente et en cours • Accompagnement des patients par les ressources humaines • Changement dynamique de la priorité d'une activité • Estimation de la durée des traitements élémentaires
Resultats_Trait	• Calcul et mise en forme des résultats sur les traitements élémentaires et les patients
Resultats_RessH	• Calcul et mise en forme des résultats sur les ressources humaines
Resultats_RessM	• Calcul et mise en forme des résultats sur les ressources matérielles
Méthodes globales (composants logiciels concernent plusieurs classes)	
• Constitution des combinaisons de ressources pour la réalisation des traitements élémentaires • Surveillance cyclique d'un patient par une ressource humaine • Calendrier d'arrivée des patients • Affectation des patients aux lieux et aux jours • Réalisation des plannings horaires des ressources • Affectation des ressources aux plannings et secteurs • Surveillance simultanée de plusieurs patients • Recherche de la ressource humaine la plus proche du lieu d'exécution d'un traitement élémentaire • Préemption des ressources • Recueil et mise en forme de la trace de la simulation • Fiche de synthèse de scenario testé • Exportation des résultats au format PDF	

Tableau 6-8. Méthodes des classes du diagramme de conception

Après avoir présenté notre bibliothèque de composants logiciels pour le domaine des systèmes hospitaliers, nous illustrons nos propos à l'aide de deux exemples qui sont présentés dans l'Annexe III :

- le premier composant concerne la méthode de globale de « Surveillance cyclique d'un patient » ;
- le second concerne la méthode de globale de « Constitution des combinaisons d'équipes pour la réalisation des traitements élémentaires ».

Comme nous le verrons, ces composants font appel aux attributs du diagramme de conception de la Figure 6-6.

D'autres composants spécifiques à chaque sous-domaine seront présentés dans la deuxième partie. Lorsque nous aborderons le sous-domaine des blocs opératoires (partie 2, chapitre 9) nous nous intéresserons particulièrement au composant logiciel générique pour la planification et l'ordonnancement de l'activité opératoire.

5. Le modèle de résultats pour le domaine

Nous rappelons que l'un des objectifs de nos travaux, tel qu'il a été défini dans le chapitre 2 de la première partie, est de fournir aux managers hospitaliers des outils d'aide à la décision pour :

- **Concevoir ou Adapter** le système en *dimensionnant* ou en *validant* le dimensionnement des entités et des flux le traversant **:** validation du dimensionnement de la structure physique et aide au dimensionnement des ressources humaines (fonctions, affectations par secteur, par planning…).
- **Configurer** le système en *planifiant* les flux, les activités et les ressources : test et comparaison des règles de gestion (affectation de moyens,…), étude de la réponse du système à des événements aléatoires, test de différents scenarii organisationnels (plannings, charge,…).
- **Piloter** le système en *évaluant* ses performances afin de pouvoir ajuster et optimiser son fonctionnement **:** évaluation d'indicateurs, calcul des temps d'attente, taux d'occupation, identification d'éventuels goulot(s) d'étranglement (salle d'attente pleine,…).

Ces objectifs sous entendent la résolution de problèmes d'évaluation de la performance et d'optimisation des systèmes et sont communs à l'ensemble des sous-domaines étudiés

De plus, nous nous intéresserons à l'ensemble des horizons temporels et niveaux de modélisation en répondant aux problématiques identifiés dans le Tableau 2-3 (p 37) du deuxième chapitre qui nous a servi de fil conducteur tout au long de nos travaux.

Nous nous plaçons sur des systèmes existants ou à concevoir. Les indicateurs sélectionnés doivent donc apporter des éléments de réponse :

- en amont, sur le dimensionnement de la structure en termes d'effectifs, sur la mise en place et la comparaison de règles d'organisation en termes de plannings et d'affectations des ressources, de gestions des flux (humains, matériels…) ;
- pendant le fonctionnement du système, pour faire évoluer et adapter les règles d'organisation et d'affectation des ressources et réagir aux événements aléatoires ;
- en aval, pour évaluer la performance du système.

Nous reprenons le cadre de du Tableau 2-3 et proposons un modèle de résultat générique pour le domaine des systèmes hospitaliers qui puisse être utilisé pour l'ensemble des sous-domaines (Tableau 6-9). Pour définir l'ensemble de ces indicateurs, nous avons travaillé avec les équipes médicales et para médicales des différents secteurs de l'hôpital prenant en charge directement les patients pour identifier les résultats qui leur semblaient les plus pertinents pour la prise de décision.

Ce modèle de résultats sera repris dans la deuxième partie comme modèle de résultats de base, quel que soit le sous-domaine étudié. Il pourra être adapté et complété avec des indicateurs propres au sous-domaine et qui peuvent dépendre des objectifs fixés, mais également des informations disponibles pour leur calcul.

		MACROSCOPIQUE	MESOSCOPIQUE	MICROSCOPIQUE
		Vue Globale	**Vue Processus (parcours patient)**	**Vue Activité**
STRATÉGIQUE (> 1 an)	**Concevoir**	**Dimensionner le système** - Nombre maximum de ressources matérielles nécessaires - Nombre maximum de ressources humaines nécessaires	**Dimensionner les processus** - Nombre maximum de ressources matérielles nécessaires, par type - Nombre maximum de ressources humaines nécessaires, par fonction	**Dimensionner les activités** - Nombre de ressources par activité - Temps d'exécution de chaque activité
TACTIQUE (semaine/mois)	**Configurer**	**Planifier les flux du système** - Nombre global de patients pris en charge par semaine	**Planifier les processus** - Nombre minimum, moyen et maximum de patients pris en charge par parcours - Nombre minimum, moyen et maximum de ressources humaines nécessaires, par fonction et secteur sur la période	**Planifier les activités** - Taux d'occupation (minimum, maximum, moyen) de chaque ressource matérielle - Taux d'occupation (minimum, maximum, moyen) de chaque ressource humaine
OPÉRATIONNEL (jour/semaine)	**Piloter**	**Évaluer et ajuster le système** - Temps global d'occupation des ressources - Nombre global de patients pris en charge par jour - Temps maximum passé par les patients dans le système - Temps d'attente cumulés	**Évaluer et ajuster les processus** - Temps d'occupation de chaque ressource humaine par secteur - Nombre de patients pris en charge par catégorie de patients et par jour - Répartition des temps par type (temps de soins, d'attente)	**Évaluer et ajuster les activités** - Temps d'attente par patient et tranche horaire - Suivi de l'occupation des ressources - Ordonnancement de l'activité et ressources mobilisées pour chaque traitement élémentaire (trace de la simulation) - Temps de dépassement de planning par ressource

Tableau 6-9. Modèle de résultat générique pour l'évaluation de la performance et l'optimisation des systèmes hospitalier

6. Conclusion

Nous avons présenté l'application de notre méthodologie ASCI-SH au domaine des systèmes hospitaliers. Notre application de cette méthodologie a été présentée à plusieurs reprises lors de conférences ou de réunions de groupes de recherche (Chabrol, Gourgand, and Rodier, 2007a, 2008a; Chabrol *et al.*, 2009).

A partir de celle-ci, nous avons proposé un modèle générique de connaissance du domaine des systèmes hospitaliers. Ce modèle sera instancié sur l'ensemble des sous-domaines étudiés dans la deuxième partie afin de proposer un modèle générique de connaissance de chaque sous-domaine.

Nous nous sommes intéressés à la résolution de la problématique de l'affectation des ressources pour la composition des équipes chargées de l'exécution d'un traitement élémentaire. Après nous être intéressé à la spécification de ces combinaisons de ressources avec LAESH (chapitre 3), avons proposé deux solutions pour la traduction de ces combinaisons en vue de réaliser des composants logiciels. La première solution tient compte des secteurs d'affectation et des zones d'intervention des ressources. La seconde permet également de prendre en compte la notion de « compétence » intrinsèque à chaque ressource humaine.

Avant de présenter notre bibliothèque de composants logiciels pour le domaine, nous avons expliqué le concept de dérivation qui permet de passer du modèle de classes d'analyse au modèle de classes de conception sur lequel s'appuient les composants logiciels.

Nous avons présenté en annexe deux de ces composants permettant de prendre en charge :

- la surveillance cyclique ;
- la composition des équipes.

Comme nous le verrons dans la deuxième partie, la généricité des composants logiciels créés permet leur réutilisabilité dans plusieurs modèles d'actions pour tout système du domaine des systèmes hospitaliers.

Pour conclure ce chapitre, enfin, nous avons proposé un modèle de résultats pour le domaine des systèmes hospitaliers. Ce modèle regroupe l'ensemble des indicateurs de base qui seront repris, et éventuellement adaptés ou complétés, dans les modèles de résultats des outils développés pour les différents sous-domaines étudiés dans la partie 2

Conclusion de la Première Partie

Nous avons exposé dans un premier chapitre le contexte dans lequel ont été réalisés nos travaux de recherche. Nous avons brièvement présenté les systèmes de production de soins avant de présenter plus en détail le CHU de Clermont-Ferrand et le projet de modélisation du Nouvel Hôpital d'Estaing sur lequel nous avons pu appliquer nos travaux.

Le deuxième chapitre a permis de définir plus en détail les principaux éléments des systèmes hospitaliers afin d'en faire ressortir leurs spécificités et problématiques. Pour répondre à ces problématiques, nous avons défini un ensemble d'indicateurs de performance à fournir aux managers hospitaliers en vue de leur apporter une aide à la décision et au pilotage. Ce chapitre a également mis en évidence la complexité des systèmes étudiés et le besoin en termes de méthodes de modélisation et d'outils d'aide à la décision qui en découle.

Pour répondre à ce besoin, nous avons donné dans le troisième chapitre, un bref état de l'art sur les méthodes et outils pour la modélisation, l'évaluation de la performance et l'optimisation des systèmes hospitaliers. Nous avons particulièrement développé la problématique de la planification et de l'ordonnancement de l'activité opératoire qui apparaît comme un des problèmes d'optimisation les plus étudiés sur le domaine.

N'ayant pas trouvé dans la littérature de langage de modélisation permettant de prendre en compte, entre autres, la complexité liée aux parcours patient et aux combinaisons de ressources humaines dans les systèmes hospitaliers, nous avons proposé dans un quatrième chapitre le Langage d'Analyse et d'Étude des Systèmes Hospitaliers

Afin également de répondre au besoin en termes de méthodes de modélisation et d'outils d'aide à la décision identifiés dans le deuxième chapitre, nous avons proposé, dans le cinquième chapitre, un cadre méthodologique qui est une instanciation de la méthodologie ASCI (Analyse, Spécification, Conception, Implémentation) sur le domaine des systèmes hospitaliers. Ce cadre méthodologique nous a permis de proposer dans le sixième chapitre un modèle générique de connaissance du domaine des systèmes hospitaliers. Nous avons décomposé le domaine en trois sous-systèmes communicants avant de nous intéresser à la spécification des principales règles de gestion et du comportement des entités. Nous avons ensuite présenté la bibliothèque de composants logiciels génériques créée pour le domaine et un modèle de résultats.

Ce cadre de modélisation représente le socle commun pour la modélisation et la conception d'outils d'aide à la décision pour les différents sous-domaines que nous étudions dans la deuxième partie.

Deuxième partie

Modélisation des sous-domaines. Application au NHE

.

Introduction de la Deuxième Partie

Dans le septième chapitre qui est un chapitre introductif à la deuxième partie et qui peut être vu comme un « mode d'emploi », nous détaillons les étapes de la méthodologie ASCI-SH qui seront suivies pour chaque sous-domaine dans les chapitres suivants.

Nous mettons en œuvre cette méthodologie sur les sous-domaines étudiés :

- le sous-domaine des blocs obstétricaux (chapitre 8) ;
- le sous-domaine des blocs opératoires (chapitre 9) ;
- le sous-domaine des unités de soins (chapitre 10) ;
- le sous domaine des urgences et le sous domaine du brancardage (chapitre 11).

Pour chaque sous-domaine, le plan de présentation est le même :

- Introduction.
- Présentation du sous-domaine.
- Mise en œuvre de la méthodologie ASCI-SH.
- Présentation du système étudié.
- Conclusion.

Pour le sous-domaine des blocs opératoires, nous décrivons également notre contribution aux problèmes de dimensionnement (ressources humaines et matérielles), de planification et d'ordonnancement de l'activité opératoire.

Chapitre 7

Les étapes de la méthodologie ASCI-SH pour chaque sous-domaine

Dans ce chapitre introductif, nous présentons les étapes de la méthodologie ASCI qui seront suivies pour chaque sous-domaine dans les chapitres suivants.

Dans la première partie, nous avons présenté un cadre de modélisation pour le domaine des systèmes hospitaliers qui s'appuie sur la méthodologie ASCI et que nous avons nommé ASCI-SH.

Nous rappelons que quel que soit le sous-domaine étudié, l'application de la méthodologie ASCI-SH permet :

- de définir à partir des problématiques et objectifs fixés, une architecture d'environnement logiciel identique pour l'ensemble des systèmes d'un sous-domaine en sélectionnant les méthodes et outils d'analyse et de spécification les mieux adaptés parmi ceux préconisés pour le domaine (Figure 5-7, p. 96) ;
- de concevoir, à partir du modèle de connaissance du domaine présenté dans la première partie (chapitre 6), un modèle générique de connaissance du sous-domaine qui soit instanciable sur tout système de ce sous-domaine ;
- d'utiliser, pour la conception des modèles d'action, la bibliothèque de composants logiciels du domaine, présentée dans la première partie, en la complétant par la création d'une bibliothèque de composants logiciels génériques pour le sous-domaine étudié et instanciables sur tout système de ce sous-domaine ;
- de proposer, un modèle de résultats qui réponde aux problématiques du domaine en reprenant les principaux indicateurs que nous avons défini dans le modèle de résultats du domaine (chapitre 6) et qui peuvent être complétés et adaptés pour tenir compte des spécificités du sous-domaine ;
- de définir un ensemble de règles de passage entre modèle de connaissance et modèle(s) d'action qui soient génériques pour tous les modèles d'action dont les architectures des environnements logiciels sont identiques et qui sont conçus en vue de répondre aux même problématiques, quel que soit le système du domaine étudié.

Dans cette deuxième partie, nous mettons en œuvre cette méthodologie sur les sous-domaines étudiés :

- le sous-domaine des blocs obstétricaux (chapitre 8);
- le sous-domaine des blocs opératoires (chapitre 9);
- le sous-domaine des unités de soins (chapitre 10);
- le sous-domaine des urgences et le sous-domaine du brancardage (chapitre 11).

Nous ne nous intéressons qu'aux activités de soins directs aux patients : parcours patient et activités aléatoires liées aux patients. Quel que soit le sous-domaine étudié, ces activités sont prioritaires par rapport aux autres activités (fonctions des acteurs, …). Nous avons fait le choix de prendre en compte de manière globale les activités non directement liées aux patients, ce qui implique que ces activités n'ont pas d'incidence sur l'évaluation des performances.

Nous développons plus particulièrement le huitième chapitre, qui concerne le sous-domaine des blocs obstétricaux et qui est, comme nous le verrons, le sous-domaine qui réunit le plus de spécificités, et donc de problématiques.

Pour le sous-domaine des blocs opératoires (neuvième chapitre), nous proposons, entre autres, une modélisation des problèmes de dimensionnement (ressources humaines et matérielles), de planification et d'ordonnancement des opérations qui peut être considérée comme générique et qui couvre les trois horizons temporels de la matrice 3x3.

Pour le sous-domaine des unités de soins (dixième chapitre), nous détaillons l'application de la méthodologie ASCI-SH.

Les sous-domaines des urgences et du brancardage sont regroupés de manière très synthétique dans le onzième chapitre.

Pour chacun des sous-domaines étudiés, les objectifs de la modélisation sont ceux que nous avons annoncés dans la première partie et qui doivent aboutir à la conception d'outils d'aide à la décision apportant des éléments de réponse pour :

- **Concevoir** ou adapter le système en *dimensionnant* les entités et les flux le traversant ;
- **Configurer** le système en *planifiant* les flux, les activités et les ressources ;
- **Piloter** le système en *évaluant* ses performances afin de pouvoir *ajuster* et *optimiser* son fonctionnement.

Un autre objectif étroitement lié à notre terrain d'étude (le Nouvel Hôpital Estaing) est **l'accompagnement au changement** des équipes hospitalières en vue de leur déménagement vers une nouvelle structure entraînant nécessairement de nouvelles organisations.

Concrètement, la modélisation doit permettre de travailler avec les soignants sur l'ensemble de leurs processus et les outils créés doivent permettre de tester et comparer différents scenarii organisationnels afin de dimensionner le système, de planifier l'ensemble de ses flux et d'évaluer sa performance.

Les principales problématiques posées sont également celles du domaine, et pour lesquelles nous avons sélectionné un ensemble d'indicateurs de performances permettant d'apporter des éléments de réponse et regroupés au sein du modèle de résultats du domaine (Tableau 6-9, p. 131).

Afin d'éviter les répétitions, nous ne redonnons pas, dans chaque chapitre, les objectifs et problématiques que nous venons de rappeler et qui sont valables pour l'ensemble des sous-domaines étudiés.

Le plan de chaque chapitre est le suivant. Après une brève introduction, nous présentons dans une seconde section le sous-domaine étudié en rappelant ses principales caractéristiques. Dans une troisième section, nous mettons en œuvre ASCI-SH sur le sous-domaine en suivant les étapes décrites ci-dessous :

- **Étape 1 - Définition d'une architecture d'environnement logiciel et sélection des outils**

Nous présentons sommairement l'architecture de l'environnement logiciel. Nous en profitons pour donner les langages et outils que nous avons choisi d'utiliser pour la conception et l'implémentation des composants logiciels du sous-domaine en vue de la conception d'un modèle d'action pour tout système du sous-domaine.

- **Étape 2 - Conception du modèle générique de connaissance du sous-domaine à partir du modèle de connaissance du domaine**
  - Pour l'analyse et la décomposition systémique, nous partons du modèle générique de connaissance du domaine et spécialisons les principales entités afin de faire ressortir pour chaque sous-domaine :
    - les ressources humaines ;
    - les ressources matérielles ;
    - les parcours patient ;
    - l'activité.

    Afin de ne pas alourdir le document, dans les diagrammes de classes du sous-domaine, nous mettons en pointillés les classes qui ne sont pas sélectionnées lors de l'instanciation du modèle générique de connaissance du sous-domaine sur le système étudié dans chaque chapitre.
  - Pour la spécification des règles de gestion et du comportement des entités, nous sélectionnons les règles de gestion du domaine applicables au sous-domaine et proposons, s'il y a lieu, des règles de gestion génériques au niveau du sous-domaine. Pour le comportement des entités, nous présentons les parcours patient et la prise en compte de l'activité hors parcours patient.

- **Étape 3 – Définition des règles de passage du modèle de connaissance au modèle d'action**

Nous donnons ces règles de passage au niveau du sous-domaine car elles sont identiques pour tout modèle d'action conçu à partir des outils et méthodes définis dans l'environnement logiciel (étape 1), quel que soit le système étudié.

- **Étape 4 – Sélection des composants logiciels**

Nous sélectionnons les composants logiciels utilisés parmi ceux de la bibliothèque de composants du domaine et présentons les composants conçus pour le sous-domaine.

Afin d'éviter, une fois encore, les répétitions, nous donnons dans le Tableau 7-1 les composants du domaine utilisés par chaque sous-domaines.

- **Étape 5 – Proposition d'un modèle de résultats pour le sous-domaine**

Nous adaptons, si besoin, le modèle de résultats du domaine, présenté par le Tableau 6-9 (p. 131) pour tenir compte des spécificités du sous-domaine.

	Bloc Obstétrical	***Bloc Opératoire***	***Unités de Soins***	***Urgences Pédiatriques***	***Brancardage***
Interfaces Modèles de connaissance → Modèles d'action					
Calendrier d'arrivée des patients	X	X		X	X
Affectation des patients aux lieux et aux jours		X	X		X
Réalisation des plannings horaires des ressources	X	X	X	X	X
Affectation des ressources aux plannings et secteurs	X	X	X	X	X
Modèles d'action					
Constitution des combinaisons de ressources	X		X	X	X
Surveillance cyclique d'un patient par une ressource humaine	X		X	X	
Surveillance simultanée de plusieurs patients	X				
Recherche de la ressource humaine la plus proche du lieu d'exécution d'un traitement élémentaire			X		
Priorisation des activités en attente et en cours	X		X	X	X
Accompagnement des patients par les ressources humaines	X			X	X
Changement dynamique de la priorité d'une activité	X			X	
Préemption des ressources	X		X	X	
Estimation de la durée des traitements élémentaires	X		X	X	X
Interfaces Modèles d'action → Modèles de résultat					
Recueil et mise en forme de la trace de la simulation	X	X	X	X	X
Calcul et mise en forme des résultats sur les traitements élémentaires et les patients	X	X	X	X	X
Calcul et mise en forme des résultats sur les ressources humaines	X	X	X	X	X
Calcul et mise en forme des résultats sur les ressources matérielles	X	X	X	X	X
Fiche de synthèse de scenario testé	X			X	
Exportation des résultats au format PDF	X			X	

Tableau 7-1. Principaux composants logiciels génériques utilisés dans les sous-domaines étudiés dans la partie 2

Nous terminons chaque chapitre :

- en présentant le système étudié pour illustrer notre démarche ;
- en donnant le modèle de connaissance de ce système à partir de la sélection des entités du modèle générique de connaissance du sous-domaine.

Les caractéristiques de l'outil d'aide à la décision implémenté (modèle d'action) et un exemple d'utilisation de chacun des outils et des résultats obtenus sont donnés en annexe. Dans le cas de la mise en œuvre d'un modèle de simulation à événements discrets stochastique, nous avons effectué un certain nombre de réplications (en général 10) qui permettent d'obtenir pour chaque critère à évaluer : minimum, maximum, moyenne, écart-type. Un point très important à noter pour les systèmes hospitaliers est l'importance de la valeur maximale d'un critère et l'éventuel danger d'une mauvaise interprétation d'un résultat en ne considérant que la valeur moyenne. L'exemple le plus significatif est celui concernant le taux d'occupation d'une ressource humaine.

Chapitre 8

Le sous-domaine des blocs obstétricaux

Sommaire

1. Introduction

On ne trouve dans la littérature que peu de travaux, hors publications purement médicales, sur le domaine des blocs obstétricaux. Si de nombreuses études se sont intéressées aux blocs opératoires, il n'en va pas de même pour le bloc obstétrical. On peut toutefois citer les travaux de (Kozan and Gillingham, 1997) qui proposent un modèle de simulation pour tester les incidences d'une variation de l'activité sur l'utilisation des salles et des lits d'une maternité. Cette « pauvreté littéraire » s'explique en partie par la complexité de ce système qui rassemble des activités très différentes (consultations en urgence, accouchements, interruptions médicales de grossesse,…) mais surtout difficilement prévisibles. Le bloc obstétrical apparaît comme une structure qui regroupe des secteurs aux modes de fonctionnement, niveaux d'asepsie et de technicité totalement différents (salle de consultation, salle d'accouchement, salle d'opération…) et qui fait intervenir de nombreuses ressources, matérielles et humaines (médecin, sage-femme, anesthésiste, infirmier de bloc, infirmier anesthésiste…).

À la différence d'un bloc opératoire conventionnel, les opérations prévues ou « programmables » ne représentent qu'une faible partie de l'activité, et les urgences deviennent rapidement vitales pour la patiente, comme pour le bébé, exigeant des règles de gestion très strictes (préemption, priorité…).

Nous présentons dans la deuxième section le sous-domaine des blocs obstétricaux.

Dans la troisième section, nous mettons en œuvre notre démarche. Nous proposons une architecture d'environnement logiciel pour le sous-domaine et choisissons les méthodes et outils pour la réalisation d'un outil d'aide à la décision. Nous concevons ensuite le modèle de générique connaissance du sous-domaine et nous donnons les règles de passage de ce modèle de connaissance au modèle d'action. Nous proposons enfin une bibliothèque de composants logiciels pour la construction du modèle d'action et un modèle de résultats.

Dans une quatrième section, nous présentons le bloc obstétrical du NHE sur lequel nous instancions notre démarche. Nous présentons le modèle de connaissance de ce système avant de donner les principales caractéristiques de l'outil d'aide à la décision implémenté en annexe.

2. Présentation du sous-domaine des blocs obstétricaux

Nous définissons le bloc obstétrical comme la structure où sont accueillies les femmes enceintes afin de recevoir l'accompagnement et le traitement médical nécessaires à leur prise en charge.

Pour les urgences obstétricales, deux solutions se présentent :

- un accueil aux urgences générales qui orientent immédiatement sur le service d'obstétrique ;
- un accueil direct au service de maternité.

En général, une ou plusieurs salle(s) d'examen sont disponibles pour les urgences, à l'entrée du bloc. La structure du bloc obstétrical dépend souvent de la taille et de la catégorie de la maternité qui est fonction du niveau de technicité qu'elle présente.

Nous reprenons plus en détail les grandes spécificités du sous-domaine à travers leur typologie définie dans le chapitre 2 de la première partie (Figure 8-1).

Les spécificités les plus importantes de ce sous-domaine sont :

- ***L'évolution du traitement du patient*** : il est fréquent qu'une patiente qui vient pour une consultation en urgence soit réorientée vers la zone d'accouchement, voire vers une salle d'opération pour bénéficier d'une césarienne. L'activité des blocs obstétricaux reste l'une des plus aléatoires parmi celles des systèmes du domaine hospitalier.

- ***Le nombre de ressources humaines par activité*** : lorsque le bloc obstétrical intègre des salles d'opération, l'activité de césarienne peut mobiliser jusqu'à 8 ressources humaines, voire même plus dans le cas de naissances multiples.
- ***La personnalisation des ressources humaines*** : lorsque cela s'avère possible (en fonction des plannings et des urgences), il est important que le personnel médical qui assure le suivi de la patiente (gynécologue-obstétricien, sage-femme) soit le même de son entrée dans le système à sa sortie.
- ***La complexité de la gestion des files d'attente*** : le bloc obstétrical regroupe quelques activités programmées mais surtout de nombreuses activités aléatoires (consultations et accouchements en urgence…). La priorisation des activités et des patients, et par conséquent la gestion des files d'attentes, peut alors s'avérer complexe lorsque l'activité est importante.
- ***L'évolution des plannings de fonctionnement*** : les blocs obstétricaux doivent être ouverts 24h/24h afin de pouvoir accueillir l'ensemble des urgences obstétriques. Les plannings de fonctionnement des ressources qui y sont rattachées peuvent alors fortement varier en fonction de l'activité qui s'y déroule. Par exemple, une sage-femme ne pourra pas laisser son poste si elle est occupée par un accouchement et que les autres ressources sont également occupées sur la prise en charge d'urgences.

De manière générale, lorsqu'un bloc obstétrical intègre dans sa structure des salles d'opération, il réunit en un même lieu les principales spécificités d'un bloc opératoire et d'un service d'urgence. Ce constat est particulièrement apparent à travers la Figure 8-1 qui superpose les graphiques des typologies des sous-domaines des blocs opératoires (en vert), des urgences (en violet) et des blocs obstétricaux (en bleu).

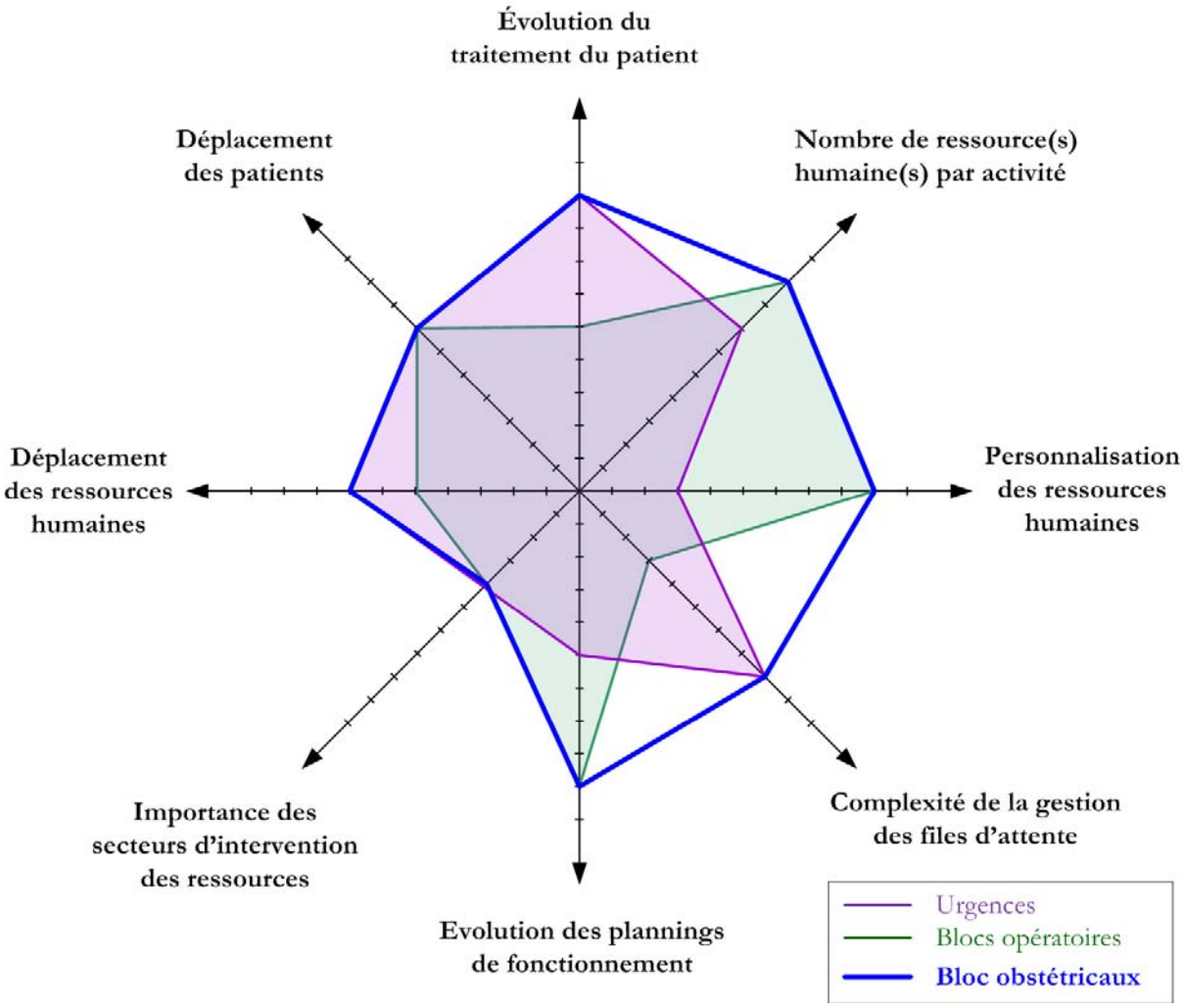


Figure 8-1. Superposition des typologies des sous-domaines des blocs opératoires, des blocs obstétricaux et des urgences

3. Mise en œuvre de notre méthodologie sur le sous-domaine des blocs obstétricaux

3.1. Choix des méthodes et outils

Pour répondre aux objectifs généraux rappelés dans le chapitre 7, nous avons sélectionné des méthodes et des outils. La Figure 8-2 donne l'architecture de l'environnement logiciel pour les blocs obstétricaux. Nous précisons pour chacune des couches les langages et logiciels utilisés pour la conception de l'outil d'aide à la décision dédié au système que nous étudierons dans la quatrième section.

Nous développons cet outil à l'aide du logiciel Witness, qui nous permet notamment d'obtenir une animation graphique de la simulation.

Le travail statistique sur les données est réalisé avec le logiciel Statgraphics Plus 5.1. tandis que les bases de données en entrée et en sortie du modèle sont stockées avec le tableur Excel. Nous utilisons également Excel pour la présentation graphique des résultats (tableaux dynamiques). La partie aide à la décision est alimentée par les indicateurs que l'on retrouve dans le modèle de résultats. Les méthodes et outils d'analyse et de spécification choisis sont les langages UML et LAESH.

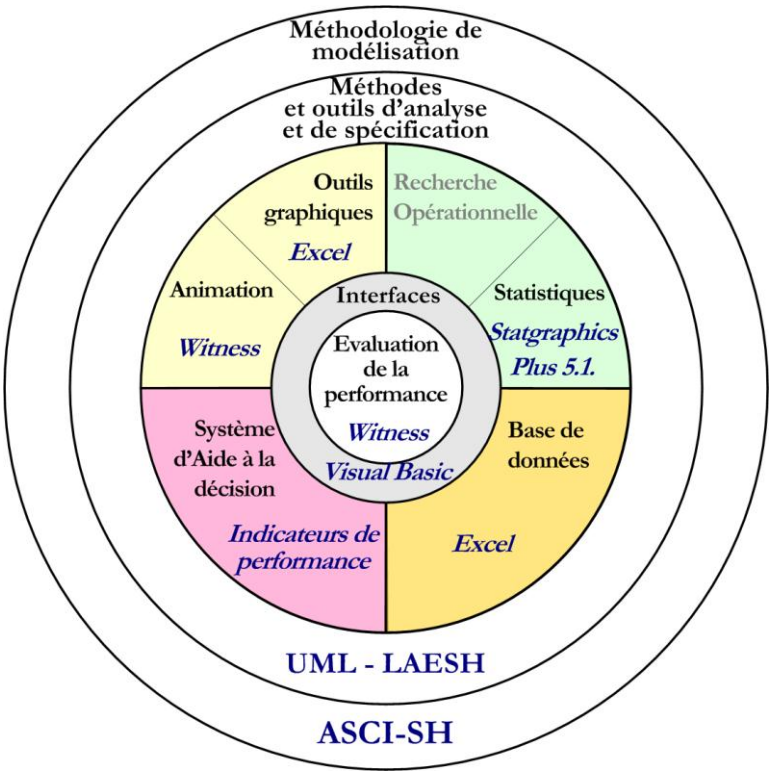


Figure 8-2. Environnement logiciel de l'outil pour le sous-domaine des blocs obstétricaux

3.2. Conception du modèle générique de connaissance du sous-domaine des blocs obstétricaux

Le modèle générique du sous-domaine des blocs obstétricaux est une instanciation du modèle générique de connaissance du domaine présenté dans le chapitre 6 de la première partie.

Les classes UML qui apparaissent en pointillés sur les différentes figures que nous présentons symbolisent les entités qui ne se retrouvent pas sur le bloc obstétrical du NHE ou qui n'ont volontairement pas été prises en comptes pour la conception de l'outil d'aide à la décision présenté dans la quatrième section (c'est le cas par exemple pour les élèves et les internes, que les soignants n'ont pas souhaité prendre en compte).

3.2.1. Décomposition systémique

Pour la décomposition systémique du sous-domaine, nous reprenons le diagramme de classes d'analyse de la décomposition du domaine (Figure 6-1, Chapitre 6, p. 105) et spécialisons les principales classes.

Comme nous l'avons précisé dans le chapitre 7, afin de ne pas alourdir le document, dans les diagrammes de classes du sous-domaine, nous avons mis en pointillés les classes qui ne sont pas sélectionnées lors de l'instanciation du modèle générique de connaissance sur le système présenté dans la section 4.

3.2.1.a. Sous-Système Physique (SSP)

La Figure 8-3 donne les relations d'héritage de la classe « Ressource Humaine » et permet d'identifier l'ensemble des ressources humaines présentent dans les blocs obstétricaux par corps de métier. Nous donnons la signification des sigles utilisés ci-dessous :

SF	Sage-Femme
AS	Aide Soignante/ Auxiliaire Pédiatrique
GO	Gynécologue Obstétricien
MAR	Médecin Anesthésiste Réanimateur
IBO	Infirmière de Bloc Opératoire
IADE	Infirmière Anesthésiste Diplômée d'État
PED	Pédiatre
ASH	Agent des Services Hospitaliers
SFBO	Sage-Femme de Bloc Opératoire

La Figure 8-4 donne les relations d'héritage de la classe « Ressource Matérielle » en identifiant notamment l'ensemble des lieux dans lesquels se déroule l'activité. Lors de la formalisation des parcours patient avec LAESH, ces ressources sont considérées comme des ressources passives.

Dans la vue donnée par la Figure 8-4, nous ne donnons pas tout ce qui concerne le matériel d'intervention, consommable ou non (exemple : instrumentation, compresses…), l'objet de notre travail n'étant pas de dimensionner ce type de matériel.

3.2.1.b. Sous-Système Logique (SSL)

Le diagramme de classes de la Figure 8-5 ne fait apparaître que les flux physiques, l'objet de notre travail n'étant pas, ni de dimensionner, ni d'évaluer les autres types de flux (financiers et informationnels). Nous donnons les relations d'héritages de la classe parcours qui permet d'identifier l'ensemble des parcours patient du sous-domaine des blocs obstétricaux. Pour l'activité, les classes « Activité » et « traitement élémentaire » du diagramme de classes d'analyse du domaine sont reprises à l'identique.

3.2.1.c. Sous-Système Décisionnel (SSD)

Le centre de décision et le centre de pilotage sont fortement dépendants du type de structure (établissement public ou privé, taille de la structure) et de la politique de l'établissement. Dans les structures publiques, le centre de décision regroupe en général le conseil de bloc ou encore le conseil de Pôle tandis que le centre de pilotage réunit les médecins, sages-femmes et soignants qui pilotent la structure au quotidien.

On retrouve également dans le sous système décisionnel les nombreuses règles de gestion et procédures qui régissent le fonctionnement de la structure. Avant de spécifier certaines de ces règles de gestion et de conclure sur la décomposition systémique du sous-domaine des blocs obstétricaux, nous donnons le nombre total de classes et de sous-classes d'objets identifiées pour les trois sous-systèmes (Tableau 8-1).

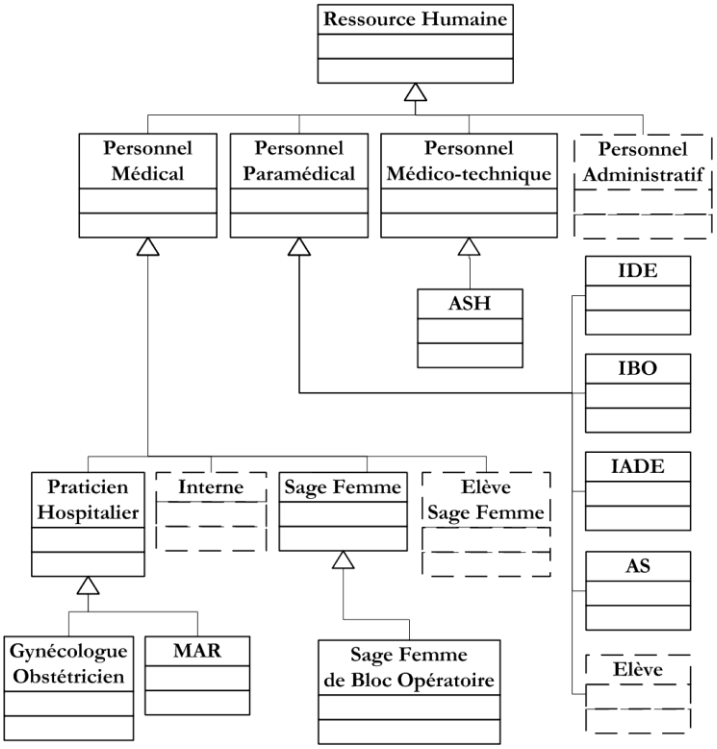


Figure 8-3. Relations d'héritage de la classe « Ressource Humaine »

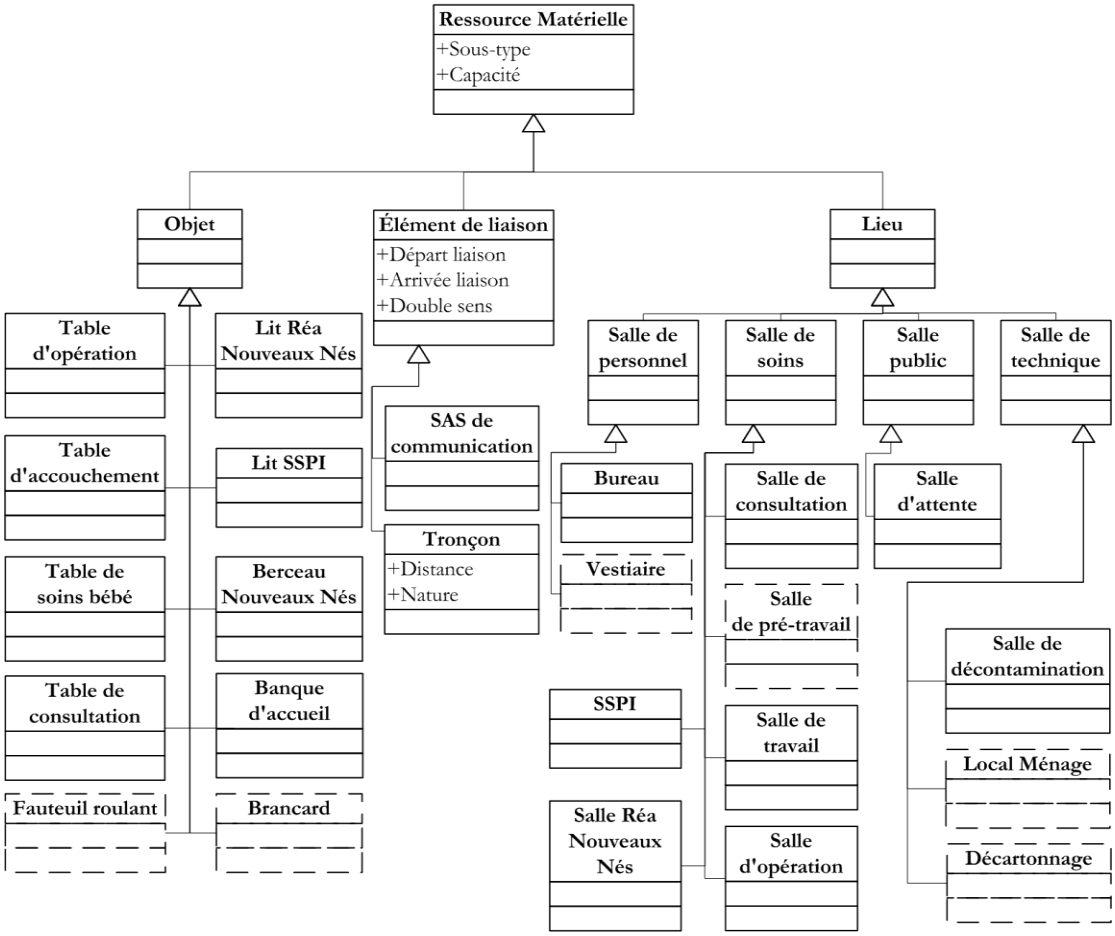


Figure 8-4. Relations d'héritage de la classe « Ressource Matérielle »

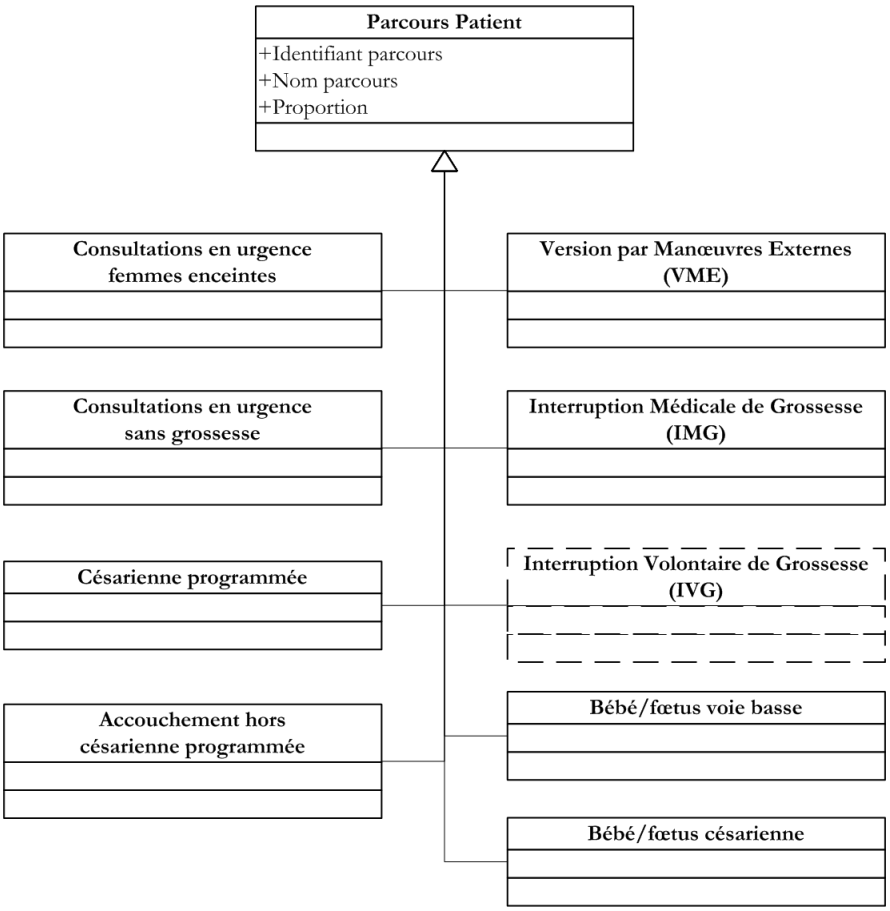


Figure 8-5. Relations d'héritage de la classe « Parcours Patient »

	SSP	SSL	SSD	Total
Nombre de classes	13	4	4	**21**
Nombre de sous-classes	38	23	10	**71**
Total	**51**	**27**	**14**	**92**

Tableau 8-1. Classes d'objets des trois sous-systèmes

3.2.2. Spécification des règles de gestion

Les règles de gestion du sous-domaine sont les règles 3, 4, 5 et 6 présentées pour le domaine dans la partie 1 et que nous rappelons dans le Tableau 8-2:

Règle n°3	Les ressources interviennent prioritairement dans leur secteur d'affectation. Elles peuvent ensuite éventuellement intervenir dans des zones ne faisant pas partie de leur secteur d'affectation.
Règle n°4	Si des ressources humaines disponibles sont appelées dans un autre secteur que leur secteur d'affectation, l'opération *i* appelle les ressources par ordre de proximité de leur localisation. Si plusieurs équipes de ressources distinctes peuvent être appelées pour réaliser le traitement, c'est la dernière équipe de ressources (qui correspond souvent à la plus « allégée ») qui est appelée.
Règle n°5	Pour qu'un traitement élémentaire *i* puisse préempter les ressources occupées sur un autre traitement *k*, il faut : – que la priorité de *i* soit élevée (*[Traitement élémentaire].Niveau de priorité*) ;

	– que le traitement *k* autorise la préemption (*[Traitement élémentaire].Niveau de préemption*) ; – que l'écart de priorité entre les deux traitements pour lequel *k* accepte d'être préempté, soit atteint (*[Traitement élémentaire].Niveau de préemption*).
Règle n°6	Si des ressources humaines, occupées sur un traitement *i*, sont préemptées pour intervenir prioritairement sur un traitement *k*, le traitement *k* qui préempte les ressources appelle prioritairement les ressources utilisées dans des zones de soins non directes (c'est à dire sans patient : bureau, locaux techniques...) puis il appelle les ressources par ordre de proximité de leur zone d'occupation. Si plusieurs équipes de ressources distinctes peuvent être appelées pour réaliser le traitement, c'est la dernière équipe de ressources qui est appelée.

Tableau 8-2. Règles de gestion des ressources humaines issues du domaine pour le sous-domaine des blocs obstétricaux

Une règle spécifique au sous-domaine est la suivante : pour l'appel des ressources, la zone opératoire est prioritaire par rapport à la zone d'accouchement, elle-même prioritaire par rapport à la zone d'examen.

3.2.3. Spécification du comportement des entités

La spécification du comportement des entités se fait à l'aide des fonctions des acteurs, des activités aléatoires et des parcours patient.

3.2.3.a. Fonctions des acteurs et activités aléatoires

Les fonctions des acteurs et activités aléatoires ont été formalisées à l'aide de diagrammes d'activité UML.

3.2.3.b. Parcours patient

Le recueil et la formalisation de la connaissance a été réalisée avec plusieurs équipes travaillant dans des services de maternité différents (maternité Hôtel-Dieu, Polyclinique) qui ont validé le caractère générique du travail réalisé. En raison de leur complexité, les parcours patient ont été modélisés avec LAESH. Le tableau 8-3 en donne les principaux éléments. Nous avons identifié 8 catégories de patients correspondant à 6 processus « pères » et 2 processus « fils » générés à partir des processus « pères » (tableau 8-4).

Éléments	Quantité
Catégories de patients	8
Phases	61
Chemins (parcours patient)	38
Nombre d'EXEC (opérations élémentaires)	153
Ressources Actives (type de personnel)	9
Ressources Passives (lieux)	31
Secteurs (zones)	3
Total des éléments LAESH	**303**

Tableau 8-3. Éléments LAESH du modèle de connaissance du bloc obstétrical

Processus « pères »	
Catégorie 1	Consultations en urgence femmes enceintes
Catégorie 2	Consultation en urgence sans grossesse
Catégorie 3	Accouchement hors césarienne programmée
Catégorie 4	Césarienne programmée
Catégorie 5	Version par Manœuvres Externes (VME) programmée
Catégorie 6	Interruption Médicale de Grossesse (IMG) programmée
Processus « fils »	
Catégorie 7	Bébé voie basse
Catégorie 8	Bébé césarienne

Tableau 8-4. Catégories LAESH pour le bloc obstétrical

La Figure 8-6 donne un exemple de représentation globale pour la catégorie de patients n°1 (Consultation en urgence avec grossesse) qui comporte 15 phases et 9 chemins.

Une patiente enceinte peut, en fonction de son état et de la structure d'accueil, suivre l'un des 9 chemins suivants :

- Chemin 1 : Consultation en urgence avec grossesse sans suite (phases 1, 2).
- Chemin 2 : Consultation et accouchement voie basse avec prise en charge de complications en salle d'opération (1, 3, 5, 9, 14).
- Chemin 3 : Consultation et accouchement voie basse nécessitant un transfert sur une structure extérieure après premières prises en charge des complications en salle d'opération (1, 3, 5, 9, 15).
- Chemin 4 : Consultation et accouchement voie basse avec complications nécessitant un transfert direct sur une structure extérieure (1, 3, 5, 10).
- Chemin 5 : Consultation et accouchement voie basse sans complication (1, 3, 5, 11).
- Chemin 6 : Consultation et travail voie basse débouchant sur une césarienne en urgence (1, 3, 6, 12).
- Chemin 7 : Consultation et travail voie basse débouchant sur une césarienne en urgence puis un transfert sur une structure extérieure (1, 3, 6, 13).
- Chemin 8 : Consultation et accouchement césarienne (1, 3, 6).
- Chemin 9 : Consultation et accouchement césarienne avec transfert sur une structure extérieure (1, 3, 7).

Au niveau microscopique, chaque phase fait l'objet d'une représentation graphique détaillée reprenant l'enchaînement des différentes opérations élémentaires.

A chaque opération élémentaire sont rattachés, dans la structure de données LAESH, l'ensemble des attributs identifiés dans les classes « traitement élémentaire » et « ressource humaine » du diagramme de classes, avec notamment :

- une combinaison d'une ou plusieurs ressources humaines ;
- éventuellement une probabilité d'exécution de cette opération élémentaire. Le tableau 8-5 donne les différentes probabilités utilisées dans les parcours patient ;
- le temps d'exécution paramétrable et faisant références à plusieurs variables afin de pouvoir être constant ou bien dépendre d'une loi de distribution. Les différents temps ont été répartis en temps de traitement des patients (T_i) en temps de transfert (TT_i) qui peuvent être selon le modèle de simulation réalisé directement pris en charge par le logiciel de simulation, et en temps de traitement des tâches annexes au patient (TA_i). La

Figure 8-7 donne un extrait de la table de correspondance des différents temps de traitement des patients ;

- la classe LAESH sur laquelle s'exécute l'opération élémentaire (la classe 1 étant la classe principale correspondant au patient) ;
- éventuellement le secteur de rattachement des ressources actives qui doivent intervenir si celles-ci interviennent dans une zone qui n'est pas la leur (exemple : une sage-femme de la zone d'examen qui accompagnent en urgence une patiente jusqu'à la zone opératoire) ;
- éventuellement l'indice « P » de « ressource partagée » suivi du nombre de partage autorisé, si la ou les ressource(s) active(s) peuvent effectuer plusieurs opérations élémentaires en parallèle (exemple : une infirmière anesthésiste qui peut surveiller jusqu'à 3 patientes différentes en salle de réveil).

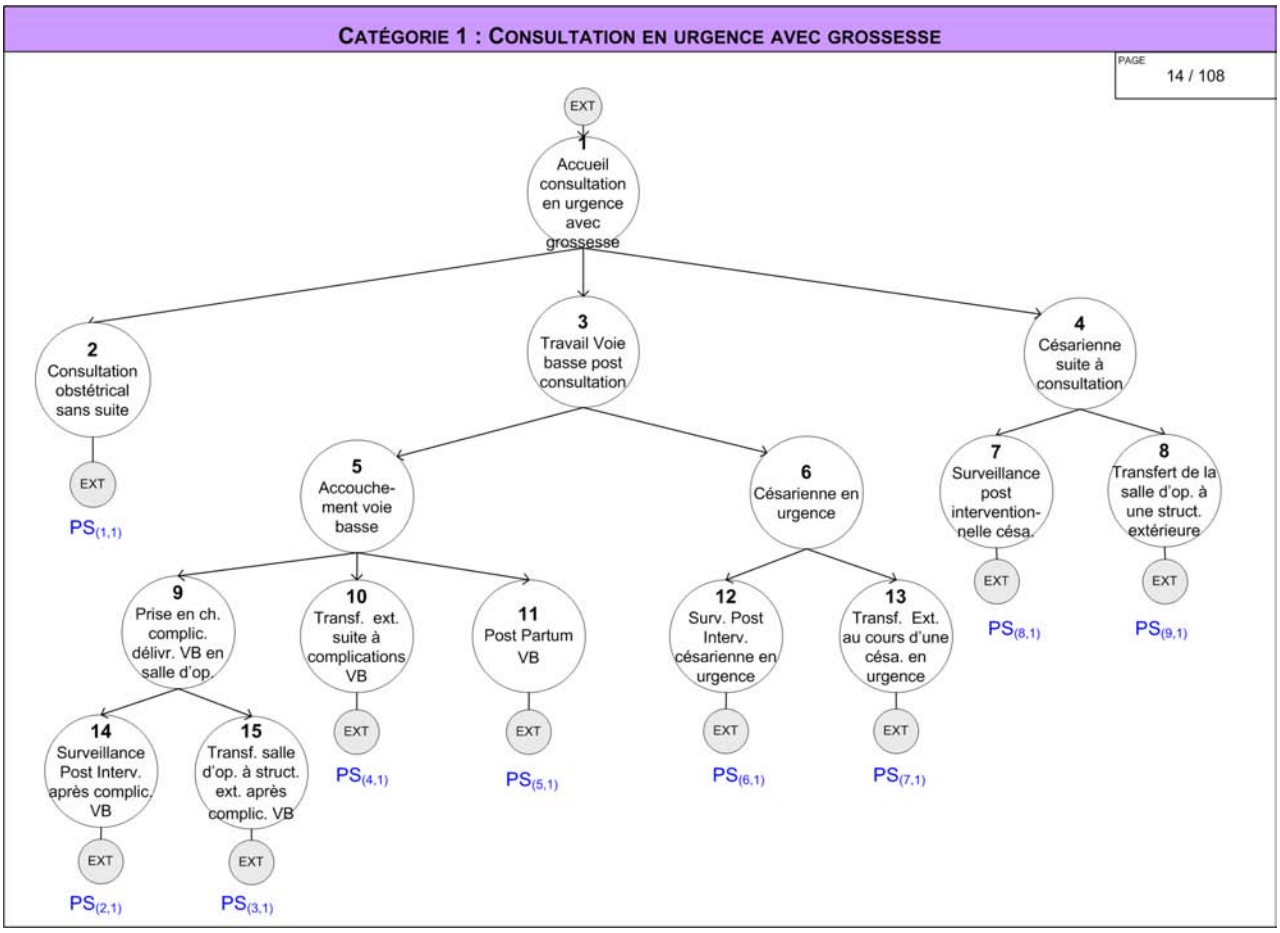


Figure 8-6. Représentation globale de la Catégorie 1
Consultation en urgence femmes enceintes

Comme nous l'avons dit dans le chapitre consacré à LAESH, les opérations élémentaires mobilisent également des ressources passives par le biais des prises et rendus de ressources passives auxquelles sont rattachés les attributs de la classe ressource matérielle avec :

- un numéro de ressource passive ;
- éventuellement l'indice « P » de « ressource partagée » suivi du nombre de partage autorisé, si la ressource passive peut être partagée entre plusieurs patients (exemple : une salle d'attente) ;
- éventuellement un numéro de prise (rendu), lorsque la ressource est prise (rendue) dans plusieurs phases.

Temps (T) de traitement des patients des catégories 1à 8 (classe 1)	
T1	Acueil zone d'examen
T3	Installation et premiers examens
T4	Diagnostic
T5	Examens complémentaires
T6	Installation pour travail VB
T7	Surveillance travail voie basse
T'7	Intervalle entre surveillance travail VB
T8	Temps total du travail
T9	Prise en charge des anomalies du travail VB
T11	Installation pour anesthésie en salle d'opération
T12	Césarienne
T13	Délivrance artificielle post césarienne
T14	Péridurale
T15	Episiotomie
T16	Extraction manuelle
T17	Extraction instrumentale
T44	Installation pour consultation
T45	Examens consultation obstétrical
T46	Examens consultation gynécologique
T47	Attente résulltats examens pendant consultation
T48	Préparation pour intervention
T49	Diagnostic post bilan
T51	Installation et anesthésie pour intervention gynécologique
T52	Intervention gynécologique
T53	Prise en charge du bébé
T55	Prélèvements périphériques et premiers soins bébé
T58	Premiers soins au bébé avec complication et transmission orale
T61	Surveillance bébé seul
T'61	Intervalle entre surveillance bébé seul
T62	Temps total surveillance bébé seul (2h)
T66	Surveillance bébé césarienne avant transfert SSPI
T'66	Intervalle entre surveillance bébé césarienne avant transfert SSPI
T67	Temps total surveillance bébé césarienne avant transfert SSPI (2h)
T70	Intervention pour complication délivrance

Figure 8-7. Extrait de la table de correspondance des différents temps de traitement des patients

Probabilité	Description
p1	Examens complémentaires
p2	Anomalies au cours du travail pouvant être prises en charge dans la zone d'accouchement
p3	Péridurale
p4	Épisiotomie
p5	Extraction instrumentale
p6	Complication pendant la délivrance spontanée
p7	Complication pendant la délivrance artificielle
p8	Suture compliquée
p9	Intervention du pédiatre
p10	Naissance multiple
p11	Délivrance artificielle
p12	Attente bilans pendant consultation

Tableau 8-5. Probabilités utilisées dans les parcours patient

La figure 8-8 donne, pour exemple, la représentation détaillée et commentée de la phase 4 de la catégorie 1 (césarienne suite à consultation). A ce niveau de détail, la compréhension des représentations détaillées parait plus complexe pour les équipes médicales. Toutefois nous avons pu constater, qu'accompagnées des tables de correspondance des ressources et des temps, ces

représentations deviennent facilement compréhensibles pour les utilisateurs et que le découpage par catégories, par parcours, puis par phases, est tout à fait adapté à la logique hospitalière. L'indicateur T_i permet de faire le lien avec l'ensemble des attributs du traitement élémentaire *i* grâce à l'attribut « Identifiant » de la classe.

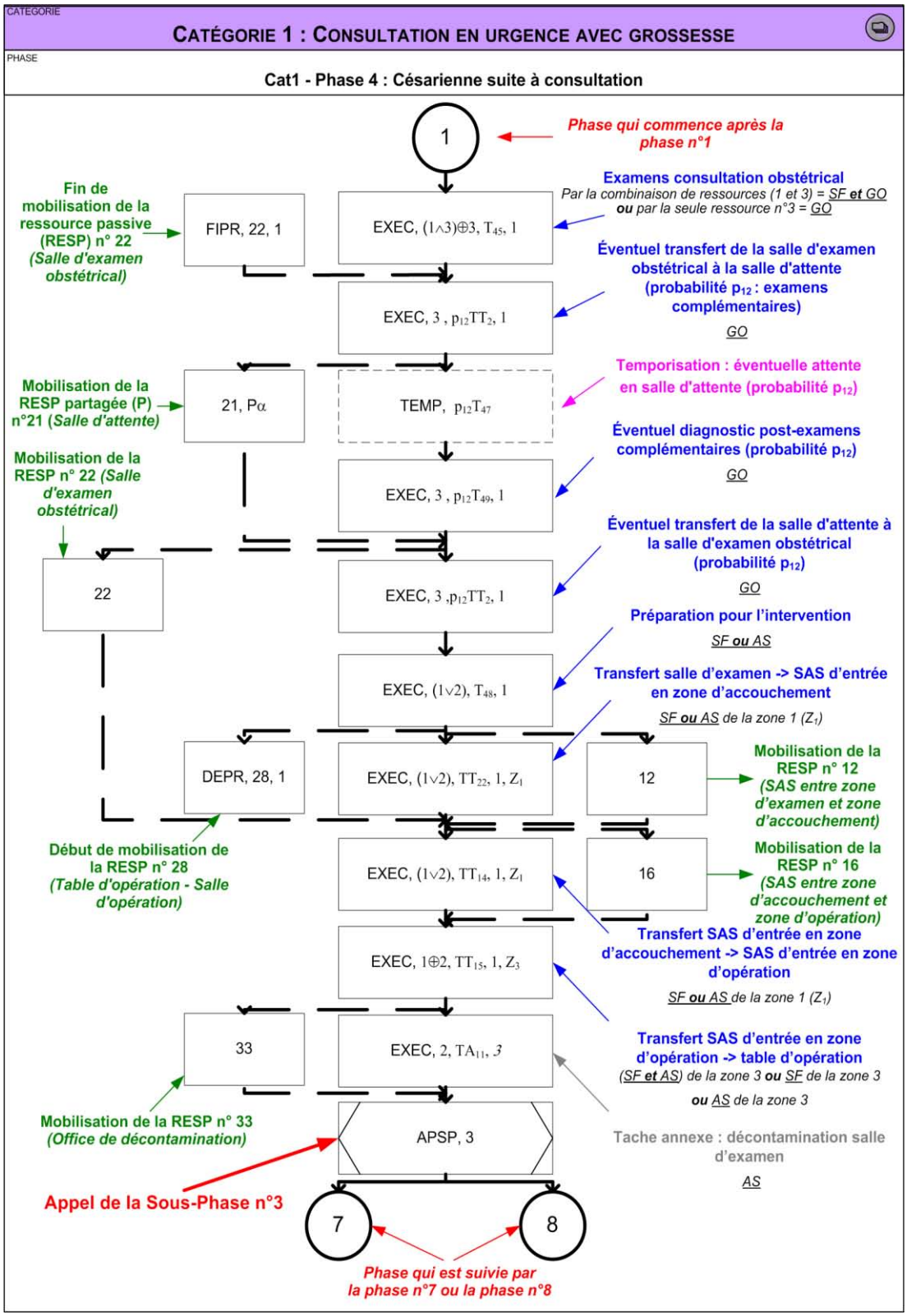


Figure 8-8. Représentation détaillée de la Phase 4 de la Catégorie 1 Césarienne suite à consultation

Afin de permettre une visualisation et une modification rapide de ce modèle nous avons créé une bibliothèque de formes LAESH sous le logiciel Visio (Microsoft Office) et avons regroupé l'ensemble des diagrammes UML et LAESH dans un même fichier. Des liens et macros ont ensuite été crées pour permettre une navigation plus conviviale à l'intérieur de ce fichier. Ces travaux de modélisation ont été présentés en 2007 aux Journées Nationales du GdR MACS « Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes » et à l'International Conference on Operational Research Applied to Health Services , ORAHS (Chabrol *et al.*, 2007; Chabrol, Gourgand, and Rodier, 2007b).

3.3. Règles de passage du modèle générique de connaissance au modèle d'action

Le cœur de l'environnement logiciel est un modèle de simulation conçu avec le logiciel Witness. Le Tableau 8-6 donne les règles de passage du modèle de connaissance conçu avec UML et LAESH à modèle d'action réalisé avec Witness.

Objet UML	LAESH	WITNESS
Patient	Catégorie	Type d'article
Secteur	Attribut d'opération élémentaire	Module
Ressources matérielles	Ressources Passives	Stock/Machine
Ressources humaines	Ressources Actives	Opérateur
Traitement élémentaire	Opération élémentaire	Cycle de production Stock/Machine

Tableau 8-6. Règles de passage du modèle de connaissance UML/LAESH au modèle d'action

3.4. Sélection des composants logiciels du domaine et conception d'une bibliothèque pour le sous-domaine

Nous avons donné en introduction de la partie 2, dans le chapitre 7, les composants logiciels du domaine sélectionnés et utilisés pour chaque sous-domaine. Ces composants logiciels sont codés selon le cas en langage Witness (pour la simulation) ou Visual Basic (pour les interfaces d'entrées et de sortie).

Un des objectifs de nos travaux de recherche étant de concevoir différents outils d'aide à la décision à destination des équipes hospitalières, nous avons pensé qu'il était important, de garder une certaine homogénéité entre les interfaces utilisateurs et la présentation des résultats des outils proposés. Le Tableau 8-7 donne les principaux composants logiciels du domaine codés à l'aide du langage Visual Basic et réutilisables pour d'autres sous-domaine.

E_1	Interface de pilotage de l'application avec orientation vers les différentes étapes de paramétrage et de visualisation des résultats (menu principal).
E_2	Distribution dynamique des données en fonction de lois de distributions (répartition des patientes par catégorie).
E_3	Génération de données sur un planning en fonctions de lois de distribution et de plages de programmation et prise en compte des modifications manuelles (génération de l'arrivée de patientes).
E_4	Affichage et génération des fichiers de type planning pour Witness (génération des plannings horaires des ressources).

E_5	Affichage et génération des fichiers d'article pour Witness avec prises en comptes de probabilités et lois de distribution (génération du fichier des patientes)
E_6	Importation et mise en forme automatique des résultats en provenance de Witness (génération des tableaux de bord et graphiques de résultats) : – Affichage et mise en forme de la trace de la simulation (niveau de détail le plus fin du suivi de l'activité). – Conception automatisée de tableaux croisés dynamiques et actualisation des graphiques attenants. – Agrégation de données et génération de résultats moyens.
E_7	Générations d'une fiche de synthèse du scenario simulé exportables au format PDF et reprenant les objectifs du scenario et les principaux résultats obtenus.
E_8	Gestion des sauvegardes des paramétrages et des résultats de la simulation.

Tableau 8-7. Composants logiciels du domaine codés en Visual Basic

Pour le modèle de simulation, dès la prise en main du logiciel Witness, nous nous sommes aperçu des possibilités mais également des limites des outils de simulation, souvent plus adaptés à des modèles issus des systèmes industriels qu'hospitaliers (difficultés à prendre en compte différents types de flux, à gérer des règles d'affectation de ressources complexes…). Nous avons alors conçu des composants logiciels implémentés à l'aide du logiciel Witness permettant de répondre à ces spécificités et qui ont permis d'alimenter la bibliothèque de composants logiciels du sous-domaine. Le tableau 8-8 présente les principaux composants créés puis implémentés avec Witness pour le sous-domaine.

W_1	Déclenchement d'un processus « fils » à partir d'un processus « père » avec héritage des caractéristiques (accouchement simple).
W_2	Déclenchement d'un processus « fils » à partir d'un processus « père » avec modification des caractéristiques dans les deux processus (accouchement avec complication).
W_3	Production d'une nouvelle entité, traitement sur un nouveau poste de travail et regroupement des entités « père » et « fils » sur un nouveau poste de travail pour traitement final (accouchement et prise en charge bébé césarienne).
W_4	Traitements de différents processus sur des machines parallèles avec règles de préemption et de priorité variables (prise en charge des urgences).
W_5	Mobilisation de ressources actives partagées sur plusieurs machines en parallèles identiques en fonction du nombre de machines occupées (surveillance IADE en salle de réveil).
W_6	Mobilisation de ressources actives partagées sur plusieurs machines différentes en fonction du nombre de machines occupées (intervention du MAR).
W_7	Mobilisation ponctuelle et cyclique de ressources actives avec déclenchement de nouvelles entités de flux (surveillance femme enceinte et rédaction de bilans).
W_8	Changement dynamique des niveaux de priorité des machines pour préemption de certaines activités (prise en charge des complications).
W_9	Accompagnement des flux (articles) par une combinaison de plusieurs ressources actives (accompagnement des patientes entre lieux)
W_{10}	Combinaison multiple d'équipes pour la réalisation d'un traitement élémentaire (césarienne)
W_{11}	Utilisation prioritaire de ressources dédiées et combinaisons complexes de ressources actives (suivi personnalisé des patientes).

Tableau 8-8. Composants logiciels Witness pour le sous-domaine des blocs obstétricaux

Comme nous pouvons le voir avec le Tableau 8-8, ces composants ont permis de prendre en compte, au niveau de la simulation, les grandes spécificités du sous-domaine des blocs obstétricaux : évolution du traitement des patients (W_1, W_2, W_3), nombre de ressources humaines par activité (W_{10}),complexité de la gestion des files d'attente (W_4), déplacement des patients et des ressources humaines (W_9), personnalisation des ressources humaines (W_{11}).

3.5. Modèle de résultats pour le sous-domaine

Le modèle de résultats pour le sous-domaine contient les mêmes indicateurs que celui donné pour le domaine et présenté par le Tableau 6-9 (p. 131).

4. Le bloc obstétrical du NHE

4.1. Présentation

Les activités de Gynécologie et d'Obstétrique du CHU de Clermont-Ferrand ont la particularité d'avoir été exercées, jusqu'à l'ouverture du NHE, par deux entités distinctes géographiquement voisines puisque situées toutes les deux sur le site de l'Hôtel-Dieu : la maternité (environ 1700 accouchements par an) et la polyclinique (environ 1000 accouchements par an). La maternité est classée niveau III (maternité regroupant toutes les grossesses pathologiques et disposant d'une réanimation néonatale) et permet d'accueillir l'ensemble des urgences obstétriques du CHU de Clermont-Ferrand. Le fonctionnement de la polyclinique, pour toute la partie obstétrique, s'apparente plus à celui d'une clinique avec une prise en charge principalement des patientes suivies par les gynécologues et sages-femmes de l'établissement. Le bloc obstétrical de la maternité comme celui de la polyclinique intègre une salle d'opération dédiée aux césariennes et adjacente à la zone d'accouchement. La salle de césariennes de la maternité est localisée dans un bloc opératoire de trois salles prenant également en charge les interventions de chirurgie gynécologique de la maternité, tandis que celle de la polyclinique, située dans le bloc obstétrical, est exclusivement dédiée aux césariennes.

Lors du déménagement de l'Hôtel-Dieu vers le Nouvel Hôpital d'Estaing, les blocs obstétricaux de la maternité et de la polyclinique ont fusionné en un seul et même bloc obstétrical découpé en trois secteurs correspondants à trois zones bien identifiées : un secteur réservé aux consultations en urgence de gynécologie et d'obstétrique (zone d'examen – ZE) ; un secteur d'accouchement voie basse (zone d'accouchement –ZA) ; un secteur opératoire qui intègre deux salles d'opération principalement dédiées aux césariennes (zone opératoire - ZO). Cette évolution soulève de nombreuses questions en termes notamment de dimensionnement des ressources humaines comme matérielles et d'organisation de la future structure.

4.2. Modèle de connaissance du bloc obstétrical du NHE

4.2.1. Décomposition systémique

4.2.1.a. Sous-système physique

Schématiquement, la figure 8-9 donne le plan du bloc obstétrical du NHE, découpé en trois secteurs correspondants à trois zones, en indiquant l'ensemble des lieux et objets (salles, tables d'opération, lits, berceaux…) modélisés et pris en compte par la simulation.

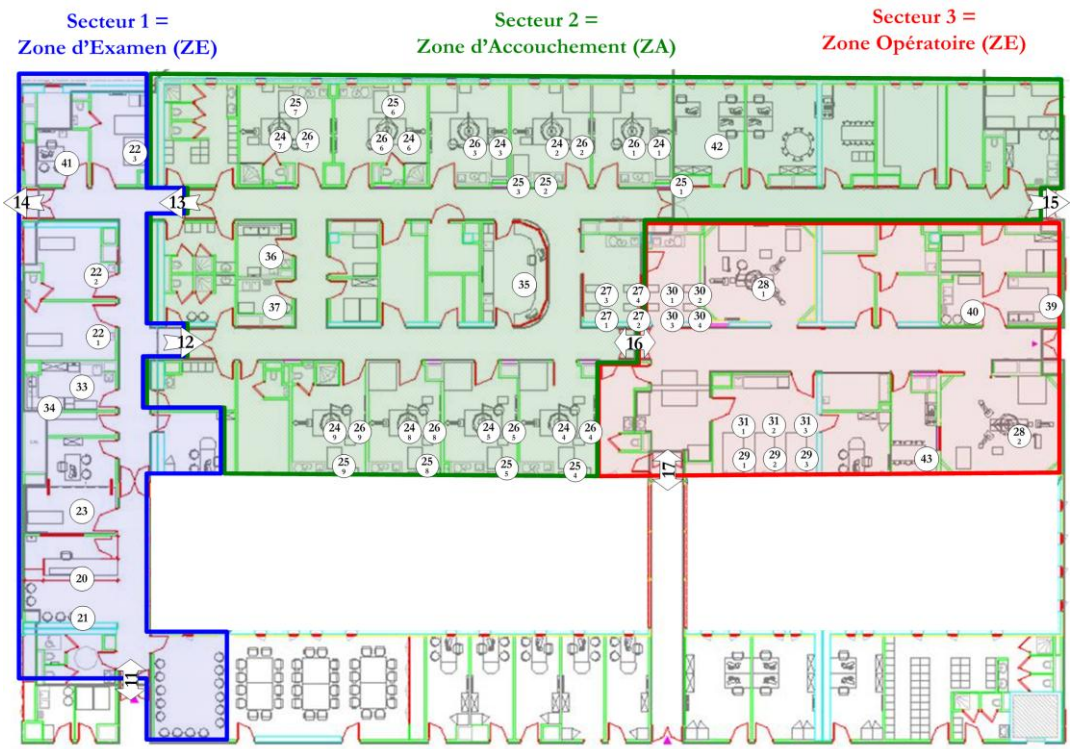


Figure 8-9. Plan du bloc obstétrical du NHE

Sur le plan, les différents SAS de transfert entre le secteur d'examen (S_1-ZE), le secteur d'accouchement (S_2-ZA) et le secteur opératoire (S_3-ZO) sont symbolisés par des flèches qui indiquent le sens de circulation tandis que les cercles donnent les numéros des autres ressources matérielles. Le tableau 8-9 donne la liste des types de ressources matérielles prises en compte pour le système.

Identifiant	Ressources Matérielles	Quantité
11	SAS Entrée / Sortie Public ZE	1
12	SAS Entrée ZE/ZA	1
13	SAS Sortie ZA/ZE	1
14	SAS Sortie ZE/ Unités de soins	1
15	SAS Sortie Réanimation Pédiatrique	1
16	SAS Entrée / Sortie ZA/ZO	1
17	SAS Entrée/ Sortie Extérieur ZO	1
20	Banque d'accueil - ZE	1
21	Salle d'attente - ZE	1
22	Salle de consultation obstétrical - ZE	3
23	Salle de consultation gynécologique - ZE	1
24	Salle et table d'accouchement - ZA	9
25	Table de soins bébé - ZA	9
26	Berceau Salle d'Accouchement - ZA	9
27	Lit Réa Nouveaux Nés - ZA	4
28	Salle et table d'opération - ZO	2
29	Lit SSPI (Salle de Soins Post Interventionnels) - ZO	3
30	Lit Réa Nouveaux Nés - ZO	4

31	Berceau SSPI - ZO	3
32	Banque d'accueil = 20	1
33	Salle de décontamination - ZE	1
34	Salle technique (local ménage) - ZE	1
35	Poste de soins - ZA	1
36	Salle de décontamination - ZA	1
37	Salle technique (local ménage) ZA	1
38	Salle de soins ZA = 35	1
39	Salle de décontamination - ZO	1
40	Salle technique (local ménage) - ZO	1
41	Bureau Sages-Femmes - ZE	1
42	Bureau Sages-Femmes - ZA	1
43	Bureau Sages-Femmes - ZO	1

Tableau 8-9. Ressources matérielles du bloc obstétrical du NHE

Nous avons répertorié 9 fonctions de ressource humaine intervenant sur le futur bloc obstétrical du NHE et qui sont considérées dans notre formalisation LAESH comme des ressources actives (tableau 8-10).

Certaines de ces ressources n'appartiennent pas au sous-système physique mais au sous-système logique. C'est le cas du pédiatre (ressource active n°9) qui peut avoir à intervenir dans le bloc obstétrical mais qui est rattaché au NHE à un autre service (pédiatrie ou réanimation infantile). Au niveau de la décomposition systémique, il apparaît donc dans les flux de ressources humaines.

Identifiant	Fonction de Ressources Humaines	Sigle
1	Sage-Femme	SF
2	Aide Soignante/ Auxiliaire Pédiatrique	AS
3	Gynécologue Obstétricien	GO
4	Médecin Anesthésiste Réanimateur	MAR
5	Infirmière de Bloc Opératoire	IBO
6	Infirmière Anesthésiste Diplômée d'État	IADE
7	Pédiatre	PED
8	Agent des Services Hospitaliers	ASH
9	Sage-Femme de Bloc Opératoire	SFBO

Tableau 8-10. Fonction de ressources humaines du bloc obstétrical du NHE

4.2.1.b. Sous-système logique

Comme nous pouvons le remarquer sur la (Figure 8-5, p. 150), nous ne sélectionnons pas, dans les parcours patient, la classe « Interruption Volontaire de Grossesse (IVG) ». En effet, au NHE, la prise en charge de ce parcours se fait au bloc opératoire central et non au bloc obstétrical.

4.2.1.c. Sous-système décisionnel

Le centre de décision du bloc obstétrical du NHE regroupe le conseil de bloc tandis que le centre de pilotage réuni les médecins, sages-femmes et soignants qui pilotent la structure au quotidien. On retrouve également les nombreuses règles de gestion qui régissent le fonctionnement de la structure et qui ont été données pour le sous-domaine.

4.2.2. Règles de gestion et comportement des entités

4.2.2.a. Règles de gestion

Pour les règles d'affectation et d'intervention des ressources humaines dans les différents secteurs et zones, elles sont données dans le Tableau 8-11 selon le formalisme $b_{i,j}$ de la partie 1 (chapitre 6, section 3, p. 118) que nous rappelons :

$b_{i,j} = 1$ Si la ressource *i* est affectée à la zone Z_j.

$b_{i,j} = -1$ La ressource *i* est utilisable dans la zone Z_j.

$b_{i,j} = 0$ La ressource *i* ne peut pas intervenir dans la zone Z_j

Les équipes hospitalières du futur bloc obstétrical ont également souhaité que les règles d'intervention des ressources soit fixées pour l'ensemble des ressources selon leur fonction (médecin, sage-femme…) et leur secteur d'affectation. Pour le système étudié, les zones correspondent aux secteurs et les ressources humaines sont prioritairement affectées à un secteur ou alors sont considérées comme « polyvalentes » (elles interviennent indifféremment sur l'ensemble des secteurs).

			Zones d'intervention		
Secteur d'affectation	**Ressources**	**Sigle**	**ZE**	**ZA**	**ZO**
Secteur 1 Zone d'examen	Aide Soignant	ASZE	**1**	**-1**	**0**
	Sage-Femme	SFZE	**1**	**-1**	**-1**
	Gynécologue Obstétricien	GOZE	**1**	**0**	**0**
Secteur 2 Zone d'accouchement	Aide Soignant	ASZA	**-1**	**1**	**-1**
	Sage-Femme	SFZE	**-1**	**1**	**-1**
Secteur 3 Zone opératoire	Aide Soignant	ASZO	**0**	**-1**	**1**
	Sage-Femme	SFZO	**0**	**-1**	**1**
	Sage-Femme de bloc	SFBO	**0**	**0**	**1**
	Infirmier de bloc	IBO	**0**	**0**	**1**
Polyvalents	Gynécologue Obstétricien	GO	**1**		
	Médecin Anesthésiste	MAR	**1**		
	Infirmier Anesthésiste	IADE	**1**		
	Pédiatre	PED	**1**		
	Aide Soignant	AS	**1**		
	Sage Femme	SF	**1**		
	Agent des Services Hospitaliers	ASH	**1**		

Tableau 8-11. Règles d'intervention des ressources humaines du bloc obstétrical du NHE

4.2.2.b. Comportement des entités

Il a été décidé avec les utilisateurs que l'outil d'aide à la décision ne prendrait en compte que l'activité directement liée au patient. Cette activité étant prioritaire sur les autres activités qui sont considérées comme préemptives (elles peuvent être stoppées pour permettre la prise en charge des patients), cette décision n'aura pas d'incidence directe sur le déroulement de la simulation. Par ailleurs le type et le nombre d'activités non directement liées au patient étant multiple (formation, inventaire, tâches administratives…), les utilisateurs ont pensé qu'il était préférable

de dimensionner cette activité de manière globale afin de pouvoir en tenir compte dans l'occupation des ressources humaines.

Nous avons donc instancié les catégories LAESH correspondant aux parcours patient sélectionné lors de la décomposition systémique (sous-système logique).

Le recueil de l'information réalisé n'étant pas suffisant pour permettre de fixer la probabilité de passage entre les différentes phases, les utilisateurs ont fait le choix de fixer des probabilités par chemin (exemple : $PS_{(2,1)}$ = probabilité qu'une patiente suive le chemin 2 de la catégorie 1).

Pour le bloc obstétrical du NHE, la probabilité du chemin 4 est nulle. En effet, ce chemin correspond à une structure n'ayant pas de salle d'opération pour prendre en charge les premières complications après un accouchement voie basse, ce qui n'est pas le cas au NHE puisque le bloc obstétrical aura ses propres salles d'opération.

4.2.3. Conclusion sur le travail réalisé sur le bloc obstétrical du NHE

Le modèle de connaissance du sous-domaine des blocs obstétricaux et son instanciation sur le bloc obstétrical du NHE ont fait l'objet d'un rapport interne de 108 pages reprenant l'ensemble des diagrammes (Rodier, 2008b).

Ce travail de formalisation de la connaissance réalisé avec les équipes médicales et soignantes a été très important, notamment dans le cadre de l'accompagnement au changement où il a permis de revoir l'ensemble des processus du système et de les adapter au nouveau bloc obstétrical du NHE. Les médecins et sages-femmes ont pu réfléchir à la prise en charge des patients et améliorer leurs procédures. Par exemple, au cours de la spécification, les équipes hospitalières ont décidé d'abandonner le parcours « Accouchement hors césarienne programmée » afin que l'ensemble des patientes devant accoucher puisse bénéficier d'une consultation avant d'entrer dans le secteur des salles d'accouchement. Les patientes initialement prévues pour ce parcours ont donc toutes étaient réorientées sur le parcours « Consultations en urgence femmes enceintes » (Catégorie 1).

L'outil d'aide à la décision pour le bloc obstétrical et son utilisation sont présentés dans l'Annexe IV (p .241).

5. Conclusion

Nous avons proposé dans ce chapitre la mise en œuvre de la méthodologie ASCI-SH sur le sous-domaine des blocs obstétricaux. Nous avons proposé un modèle générique de connaissance, une bibliothèque de composants logiciels et un modèle de résultats pour le sous-domaine des blocs obstétricaux.

Le contexte dans lequel se sont déroulés nos travaux nous a permis de valider la généricité de nos modèles. En effet, nous avons pu instancier notre modèle de connaissance sur trois systèmes différents du sous-domaine, deux existants et un à concevoir :

- le bloc obstétrical de la maternité ;
- le bloc obstétrical de la polyclinique ;
- le futur bloc obstétrical du NHE.

Nous avons choisi de présenter l'instanciation de notre modèle générique de connaissance du sous-domaine sur le futur bloc obstétrical du NHE qui a fait l'objet d'un important travail de modélisation de la connaissance et de recueil de données. Ce travail a été réalisé en étroite collaboration avec les équipes médicales et soignantes de la maternité et de la polyclinique et en particulier avec le Professeur Denis Gallot et Mesdames Marilyne Farge et Florence Delpirou,

Sages-femmes Cadres supérieur de Santé. Il a permis d'accompagner les équipes dans leur réflexion sur la mise en place de la future organisation, mais a également permis à ces mêmes équipes de revoir et de rationnaliser l'ensemble de leurs processus. L'analyse détaillé des parcours patient à permis d'anticiper sur d'éventuels dysfonctionnements et de pouvoir agir en conséquence : par exemple, un sens de circulation a été défini et des modifications de la structure physique ont été demandées suite à ce travail (agrandissement de la zone d'attente, condamnation d'une porte entre deux locaux). La simulation a également permis de valider ou non certaines règles d'organisation (par exemple, il a été préconisé suite aux résultats obtenus par différents scenarii, que l'aide-soignante affectée à la zone d'examen serait uniquement affectée à cette zone et qu'elle ne pourrait pas intervenir dans les zones voisines afin de garantir la présence d'un soignant lors de l'arrivée d'une éventuelle patiente pour une consultation en urgence) et d'étudier l'impact de la modification des postes horaires en vue de la fusion des deux équipes.

L'outil d'aide à la décision que nous présentons dans la quatrième section ne représente que la « face visible » du travail réalisé, le plus important dans ce projet ayant consisté à recueillir, à formaliser la connaissance en vue de la construction du modèle générique de connaissance du sous-domaine et à faire valider cette formalisation par les équipes de l'hôpital.

Outre l'investissement des équipes médicales et soignantes, ce travail qui s'est étalé sur six mois (dont trois mois de conception), a mobilisé trois étudiants stagiaires pour le recueil des données. Quelques semaines après l'ouverture, le retour sur investissement est difficile à estimer. Au vu des résultats obtenus nous pouvons toutefois avancer que cet outil a rempli les objectifs qui lui été fixés en terme de dimensionnement, configuration et accompagnement au changement.

Le travail réalisé a par ailleurs été présenté, à la demande des hospitaliers, au 37èmes Journées Nationales de la Société Française de Médecine Périnatale (Rodier *et al.*, 2007b), à la Journée Francophone de Recherche en Obstétrique et Gynécologie (Rodier *et al.*, 2007a) et, à la demande de l'Association Nationale des Sages-Femmes Cadres, à leur 25èmes Journées d'Études (Rodier *et al.*, 2008).

Chapitre 9

Le sous-domaine des blocs opératoires

Sommaire

1. Introduction

Avec la tarification à l'activité (T2A), nouveau mode de financement des hôpitaux, l'hôpital se doit d'étudier toutes les marges de manœuvre pour diminuer ses dépenses. Une des unités fonctionnelles les plus coûteuses et les plus complexes dans l'hôpital est le bloc opératoire. Comme nous l'avons vu lors de notre état de l'art, de nombreux travaux ont été réalisés dans le domaine, notamment sur la planification et l'ordonnancement de l'activité opératoire. Peu de travaux par contre se placent sur l'horizon temporel stratégique afin de dimensionner la structure, en amont de sa mise en fonctionnement. Dans ce chapitre, nous proposons de nous intéresser à l'ensemble des horizons temporels afin de concevoir un outil d'aide à la décision qui apporte des éléments de réponses aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel, que ce soit pour un système existant ou restant à concevoir.

Dans la deuxième section, nous présentons le sous-domaine des blocs opératoires.

Dans la troisième section, nous nous intéressons au problème de dimensionnement, de planification et d'ordonnancement de l'activité opératoire. Comme nous l'avons vu dans le chapitre 2, lorsque nous avons abordé la complexité des systèmes hospitaliers, nous proposons un chaînage entre des heuristiques et un modèle de simulation pour les problèmes de dimensionnement et de planification de l'activité opératoire. Le modèle de simulation peut ensuite être couplé avec des métaheuristiques pour optimiser, par exemple, l'ordonnancement initial donné par les heuristiques (Figure 9-1). Chaque nouvel ordonnancement proposé par les métaheuristiques est évalué à l'aide du modèle de simulation puis renvoyé vers les métaheuristiques pour une nouvelle optimisation. Dans cette section, nous nous intéressons plus particulièrement aux heuristiques.

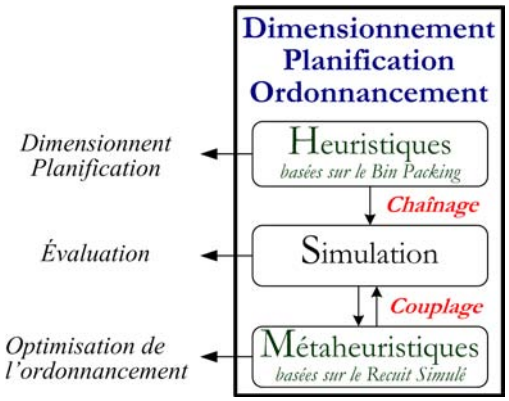


Figure 9-1. Chaînage et couplage pour l'outil d'aide à la décision dédié au bloc opératoire

Dans la quatrième section, nous mettons en œuvre notre démarche. Nous proposons une architecture d'environnement logiciel pour le sous-domaine et choisissons les méthodes et outils pour la réalisation d'un outil d'aide à la décision. Nous concevons ensuite le modèle de générique connaissance du sous-domaine et nous donnons les règles de passage de ce modèle de connaissance au modèle d'action. Nous proposons enfin une bibliothèque de composants logiciels pour la construction du modèle d'action et un modèle de résultats.

Dans la cinquième section, nous présentons le bloc opératoire du NHE sur lequel nous instancions notre démarche. Nous présentons le modèle de connaissance de ce système avant de donner les principales caractéristiques de l'outil d'aide à la décision implémenté en annexe.

2. Présentation du sous-domaine des blocs opératoires et du bloc opératoire du NHE

Nous définissons le bloc opératoire comme un espace composé de plusieurs éléments normalisés dans lequel sont pris en charge les patients devant subir une intervention chirurgicale. Il est généralement composé de :

- une ou plusieurs salle(s) d'opération ;
- une ou plusieurs salle(s) de surveillance post interventionnelle (SSPI : salle de réveil) ;
- une ou plusieurs salle(s) de stockage ;
- une ou plusieurs autres salle(s) réservées au personnel (salle de repos, bureaux…).

Suivant les établissements, on peut également trouver des salles d'induction et d'autres salles techniques (salle de conditionnement, SAS de décartonnage…).

En nous appuyant sur la typologie du sous-domaine des blocs opératoires définie dans le chapitre 2 de la première partie et représenté par la Figure 9-2, nous rappelons les principales spécificités du sous-domaine des blocs opératoires qui sont :

- ***Le nombre de ressources humaines par activité*** : l'activité opératoire mobilise de nombreux corps de métier : chirurgien, médecin anesthésiste, infirmier de bloc, infirmier anesthésiste, interne… avec des équipes de taille très variable pouvant aller jusqu'à 8 ressources humaines.
- ***La personnalisation des ressources humaines*** : ce sont généralement les mêmes équipes médicales et paramédicales qui prennent en charge les différentes étapes de l'activité opératoire de l'arrivée d'un patient à son départ ;
- ***L'évolution des plannings de fonctionnement*** : si les blocs opératoires ont souvent des plannings de fonctionnement prédéfinis, c'est avant tout l'activité qui s'y déroule qui fixe les heures de fermeture des salles et non l'inverse. Il en va de même pour la présence des équipes opératoires et de décontamination.

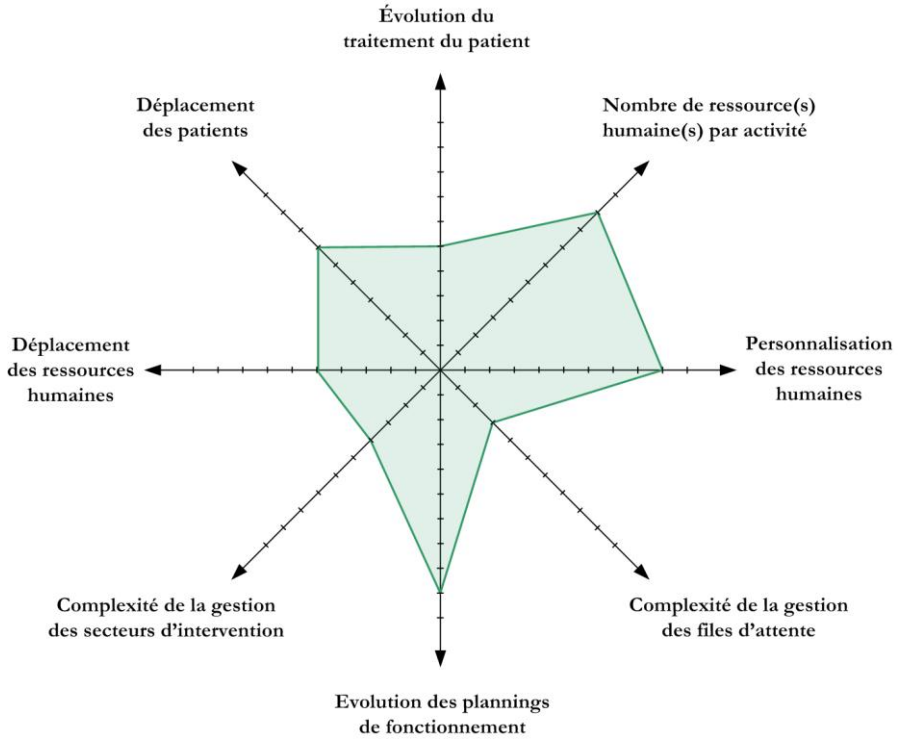


Figure 9-2. Typologie du sous-domaine des blocs opératoires

Contrairement au bloc obstétrical, l'activité du bloc opératoire est censée être de l'activité programmée, même si celle-ci subit de nombreux aléas (état du patient, retard de l'un des membres de l'équipe opératoire en raison des autres activités, dysfonctionnement retardant l'arrivée du brancardier et du patient…). Le bloc opératoire se trouve en effet à l'interface avec de nombreux autres systèmes (brancardage, unités de soins, service des urgences, radiologie…) et son bon fonctionnement est fortement dépendant du fonctionnement de ces derniers.

3. Le problème du dimensionnement, de la planification et de l'ordonnancement de l'activité

Avant de nous intéresser à la mise en œuvre de notre méthodologie, nous étudions dans cette section le problème de dimensionnement et de planification de l'activité opératoire.

Les hypothèses à prendre en considération sont :

- différents degrés de polyvalence des salles d'opérations (salles dédiées ou plus ou moins partagées) ;
- des temps de vacation offerts (TVO), correspondant au temps de mise à disposition des salles pour l'activité opératoire, pouvant varier d'une salle à l'autre et selon le jour de la semaine ;
- la possibilité de pouvoir prendre en compte une variation de l'activité et, éventuellement de nouvelles spécialités ;
- la prise en compte des ressources humaines.

Les solutions proposées doivent permettre de faire varier :

- la charge du système (nombre d'interventions, nombre de spécialités, …) ;
- la spécificité des salles (spécialisées, partagées, polyvalentes) ;
- le planning d'ouverture de chaque salle.

Nous proposons une formalisation mathématique de cette problématique (3.1.) avant de nous intéresser à sa résolution par des heuristiques qui seront couplées avec un modèle de simulation pour l'évaluation des solutions proposées (3.2). Nous aborderons ensuite rapidement dans une dernière sous-section un travail préliminaire de couplage entre cette solution et des métaheuristiques en vue d'optimiser l'ordonnancement proposé par les heuristiques. Ces deux solutions feront l'objet de la conception et l'implémentation de composants logiciels lors de la mise en œuvre de notre méthodologie.

3.1. Analyse et formalisation mathématique du problème

Étant donné :

- un nombre « infini » (égal au nombre d'opérations) de salles ;
- une liste 1,2, …, n d'opérations i de durée t_i.

On cherche une affectation des opérations aux salles qui minimise le nombre de salles utilisées. Nous considérons, pour notre formalisation, que le terme « opération » fait référence à l'ensemble de l'activité opératoire telle qu'elle est définie par la Figure 9-8 (p. 178) et intègre donc le traitement élémentaire de décontamination et remise en état de la salle. Pour qu'une affectation soit admissible, la somme des durées des opérations affectées le jour k à une salle doit être inférieure ou égale à la durée d'ouverture de la salle le jour k. Pour la problématique de dimensionnement, nous considérons en effet que les déplacements de planning ne sont pas autorisés. Nous formalisons le problème ci-dessous.

- **Formalisation du problème**

Données

n	nombre d'opérations considérées
p	nombre de jours de la période
t_i	durée de l'opération i
s_i	spécialité de l'opération i
d_{jk}	durée d'ouverture de la salle j le jour k
a_{sj}	$= \begin{cases} 1 & \text{si la spécialité } s \text{ est traitée dans la salle } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$

Variables

Pour décrire une solution, on peut utiliser un codage binaire pour indiquer quelle salle j et à quel jour k, l'opération i est affectée.

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si l'opération } i \text{ est affectée à la salle } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{si l'opération } i \text{ est affectée le jour } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$z_j = \begin{cases} 1 & \text{si la salle } j \text{ est utilisée} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

On cherche à minimiser le nombre de salles utilisées : $\sum_{j=1}^{j=n} z_j$

Sous les contraintes

$\sum_{i=1}^{i=n} x_{ij}\, y_{ik}\, a_{sj}\, t_i \le d_{jk}\, z_j$	pour chaque salle $j = 1, n$ pour chaque jour de la période $k = 1, p$	(1)
$\sum_{j=1}^{j=n} x_{ij} = 1$	pour chaque opération $i = 1, n$	(2)
$\sum_{k=1}^{k=p} y_{ik} = 1$	pour chaque opération $i = 1, n$	(3)
$x_{ij} \in \{0,1\}$	$i = 1, n$; $j = 1, n$	
$y_{ik} \in \{0,1\}$	$i = 1, n$; $k = 1, p$	
$z_j \in \{0,1\}$	$j = 1, n$	

La contrainte (1) signifie que la somme des durées des opérations réalisées le jour k et affectés à la salle j est inférieure ou égale à la durée d'ouverture de la salle le jour k. La partie droite de l'inégalité oblige z_j à prendre la valeur 1 dès qu'une opération est affectée à la salle j.

La contrainte (2) impose à chaque opération d'être affectée à une salle et une seule.

La contrainte (3) impose à chaque opération d'être affectée à un jour et un seul.

Pour la résolution du modèle mathématique présenté, nous nous sommes intéressés aux méthodes approchées plutôt qu'aux méthodes exactes pour différentes raisons :

- horizon stratégique : pour le dimensionnement, il est important de pouvoir travailler sur un historique d'activité. Si on souhaite prendre un historique de plusieurs mois sur des systèmes de grande taille en termes de nombre de salles et nombre de spécialités, la taille du problème ne nous permet pas de résoudre le modèle mathématique à l'aide d'un solveur dans un délai jugé satisfaisant par les utilisateurs (quelques minutes) ;
- horizon tactique : les heuristiques et métaheuristiques nous permettent d'interpréter au mieux les différentes règles fixés par les chirurgiens concernant la planification et l'ordonnancement opératoire (par exemple : les interventions les plus longues sont placées en début de programme…) ;
- horizon opérationnel : les méthodes approchées nous laisse une grande souplesse quand aux différents scenarii testés et au couplage avec un modèle de simulation pour l'évaluation des solutions proposées.

3.2. Spécification et résolution du problème par des heuristiques

Nous avons choisi de résoudre le problème de dimensionnement et de planification à l'aide d'heuristiques de construction basées sur les méthodes utilisées pour le problème du bin-packing. Celles-ci nous ont permis, le plus souvent, d'atteindre les bornes inférieures tout en tenant compte de la logique de planification des chirurgiens.

Avec les heuristiques, nous allons à un niveau de détail plus fin que pour le modèle mathématique et distinguons, dans l'activité, l'intervention à proprement parlé de l'étape de décontamination post-interventionnelle.

Étant donné :

- un nombre maximum de salles ;
- une liste 1,2, …, n d'opérations i de durée t_i.

Le principe des heuristiques consiste à affecter les opérations (au nombre de n) en respectant des contraintes (temps d'ouverture des salles). Une heuristique effectue n affectations. Pour effectuer une affectation, on balaye l'ensemble des salles. Pour une salle donnée, on balaye l'ensemble des jours de la période et on retient :

- soit la première opération admissible de la période (Heuristique H1) ;
- soit la meilleure opération admissible de la période (celle qui minimise le temps restant de la salle, H2) ;
- soit la meilleure opération admissible de la journée (H3).

Si l'affectation ne peut pas être effectuée, on passe au jour suivant. Sinon on passe à la salle suivante (quand tous les jours de la période ont été parcourus). Ce cas peut correspondre à l'ouverture d'une salle.

Comme l'objectif premier est de dimensionner le système, les heuristiques chargent en priorité les différentes journées de l'horizon d'une salle. Nous donnons ci-dessous, de manière synthétique, les données, variables et contraintes des heuristiques avant de présenter leur algorithme de principe (Algorithme 9-1).

Données

n	nombre d'opérations considérées
p	nombre de jours de la période
t_i	durée de l'opération i
ia_i	durée de décontamination de la salle après l'opération i
s_i	spécialité de l'opération i
d_{jk}	durée d'ouverture de la salle j le jour k
$jour_i$	jour initialement planifié de l'opération i
sm	nombre maximal de salles d'opération
$nspec$	nombre de spécialités chirurgicales
nts	nombre de types de salle (spécialisée, partagée…)
v_{jk}	temps d'occupation de la salle j le jour k

Variables

On utilise le même codage binaire que pour le modèle mathématique afin d'indiquer à quelle salle j et à quel jour k, l'opération i est affectée.

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si l'opération } i \text{ est affectée à la salle } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{si l'opération } i \text{ est affectée le jour } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Contraintes

$$\sum_{i=1}^{i=n} x_{ij}\, y_{ik}(t_i + ia_i) \le d_{jk}$$ pour chaque salle $j = 1, n$ pour chaque jour de la période $k = 1, p$ (1)

$$\sum_{j=1}^{j=n} x_{ij} = 1$$ pour chaque opération $i = 1, n$ (2)

$$\sum_{k=1}^{k=p} y_{ik} = 1$$ pour chaque opération $i = 1, n$ (3)

$$x_{ij} \in \{0,1\}$$ $i = 1, n$; $j = 1, n$

$$y_{ik} \in \{0,1\}$$ $i = 1, n$; $k = 1, p$

La contrainte (1) signifie que la somme des durées des opérations et des temps de décontamination attenants réalisées le jour k et affectées à la salle j est inférieure ou égale à la durée d'ouverture de la salle j le jour k.

Comme pour le modèle mathématique, la contrainte (2) impose à chaque opération d'être affectée à une salle et une seule tandis que la contrainte (3) impose à chaque opération d'être affectée à un jour et un seul.

---

cpte = 0	*[initialisation du compteur des opérations affectées]*
liste = ∅	*[initialisation de la liste des opérations affectées]*
Tant que cpte ≤ n	*[tant que toutes les opérations ne sont pas affectées]*
Pour α = 1, *nts*-1	*[pour chaque type de salle non polyvalente]*
Soit [j_1,j_2] l'intervalle des numéros de salles de type α	

Pour $j = j_1, j_2$ *[pour chaque salle de type α]*

Pour $k = 1, p$ *[pour chaque jour de la période d'étude]*

$v_{jk} = \sum_{i=1}^{i=n} x_{ij}\ y_{ik}(t_i + ia_i)$ *[calcul du temps d'occupation de la salle j le jour k]*

Si $v_{jk} < d_{jk}$ Alors *[s'il est inférieur à la durée d'ouverture]*

On applique l'une des trois règles suivantes : Recherche parmi les opérations non affectées de l'opération **ic** *telle que :*

Heuristique H1

$v_{jk} + t_{ic} + ia_{ic} \leq d_{jk}$ ($ic \notin liste$, *ic* et *j* compatibles)

[on affecte la première opération admissible de la période]

Heuristique H2

ic minimise $d_{jk} - v_{jk} - (t_{ic} + ia_{ic})$ ($i \notin liste$, *i* et *j* compatibles)

[on affecte la meilleure opération de la période]

Heuristique H3

ic minimise $d_{jk} - v_{jk} - (t_{ic} + ia_{ic})$ ($i \notin liste$, *i* et *j* compatibles, $jour_i = 1$)

[on affecte la meilleure opération de la journée]

cpte = cpte + 1

liste(cpte) = ic

$x_{icj} = 1$ *[l'opération ic est affectée à la salle j]*

$y_{ick} = 1$ *[l'opération ic est affectée au jour l]*

Fin Si

Fin Pour *k*

Fin Pour *j*

Fin Pour α

S'il reste des opérations à placer alors on détermine le nombre de salles polyvalentes nécessaires.

Soit $[j_1, sm]$ *l'intervalle des numéros des salles polyvalentes*

Pour $j = j_1, sm$ *[pour chaque salle polyvalente]*

Pour $k = 1, p$ *[pour chaque jour de la période d'étude]*

$v_{jk} = \sum_{i=1}^{i=n} x_{ij}\ y_{ik}(t_i + ia_i)$

Si $v_{jk} < d_{jk}$ **Alors**

On applique l'une des trois règles suivantes : Recherche parmi les opérations non affectées de l'opération ic telle que :

Heuristique H1

$v_{jk} + t_{ic} + ia_{ic} \leq d_{jk}$ ($ic \notin liste$)

Heuristique H2

ic minimise $d_{jk} - v_{jk} - (t_{ic} + ia_{ic})$ ($i \notin liste$)

Heuristique H3

ic minimise $d_{jk} - v_{jk} - (t_{ic} + ia_{ic})$ ($i \notin liste$, $jour_i = 1$)

cpte = *cpte* +1

liste(cpte) = *ic*

$x_{icj} = 1$

$y_{ick} = 1$

Fin Si

Fin Pour *k*

Fin Pour *j*

Fin Tant que

Algorithme 9-1. Principe des heuristiques de dimensionnement

Avec les heuristiques, nous allons plus loin que le modèle mathématique puisqu'elles nous permettent de traiter la problématique de l'ordonnancement opératoire. De plus, elles constituent un point d'entrée pour le modèle de simulation qui donne, entre autres :

- les dates de début et de fin de chaque intervention et de chaque traitement de décontamination ;
- l'occupation des ressources humaines et matérielles à tout instant *t*.

Pour vérifier l'efficacité des heuristiques nous avons créé une série de modèles mathématiques (Cassagne, 2009). Les résultats obtenus ont permis de montrer la pertinence de l'utilisation des heuristiques pour le dimensionnement à partir d'un important jeu de données. Les heuristiques ont également été validées sur les données d'activité opératoire de l'Hôtel Dieu du premier semestre 2007 (de l'ordre de 3600 opérations) et sur l'organisation actuelle du CHU.

3.3. Amélioration de la planification et l'ordonnancement proposés

Afin d'optimiser la planification et l'ordonnancement proposés, de nombreuses problématiques peuvent être traitées comme par exemple celle de la minimisation du temps d'attente des chirurgiens entre leurs opérations et celle de la recherche d'une planification et d'un ordonnancement optimaux pour un nombre d'équipes médicales donné. Ces problèmes sont des problèmes multi-critères que nous étudions avec des métaheuristiques basées sur le recuit simulé (Cassagne, Gourgand, and Rodier, 2010). Pour cela, nous avons fait évoluer les heuristiques afin que celles-ci prennent en compte les chirurgiens et donnent une solution initiale aux métaheuristiques. Nous avons donc une métaheuristique qui permet de prendre en compte plusieurs critères, dans un ordre hiérarchique prédéterminé. Les critères à minimiser sont le nombre de salles d'opérations à ouvrir, le nombre de salles polyvalentes, le nombre d'équipes opératoires nécessaires pour réaliser les opérations et le temps d'attente des chirurgiens. Les données d'entrée sont celles utilisées par l'heuristique de dimensionnement complétée du nombre de salles maximum utilisable par un même chirurgien au cours d'une journée, du chirurgien de chaque opération et du découpage de chaque opération (temps de préparation, acte chirurgical et temps de pansement).

Plusieurs systèmes de voisinage sont utilisés (permutation et insertion). L'Algorithme 9-2 donne le principe du système de voisinage par permutation.

Données : ***x*** **une solution courante**

Résultat : un voisin *y* valide ou rien.

Début

choisir uniformément et aléatoirement une opération $op_1 \in x$ *et* $op_2 \in x$
Si [(*spécialité*(op_1) = *spécialité*(op_2))
ou ((*salle*(op_1) = *salle polyvalente*) **ET** (*salle*(op_2) = *salle polyvalente*))]
Si [(op_1 planifiable *jour*(op_2)) **ET** (op_2 planifiable *jour*(op_1))]
permutation des affectations de op_1 *et* op_2
décalage des successeurs de l'opération la plus longue si chevauchement.
Si (*y valide*)
retourner y
Sinon
retourner nulle
Fin Si
Fin Si
Fin Si
Fin Si

Algorithme 9-2. Principe du voisinage par permutation

Le travail réalisé aujourd'hui sur les métaheuristiques n'est qu'un travail préliminaire mais qui nous ouvre néanmoins de nombreuses perspectives. Nous ne publions donc pas encore les premiers résultats expérimentaux de ce travail d'optimisation et présentons uniquement les résultats obtenus par les heuristiques et la simulation dans l'Annexe V.

4. Mise en œuvre de notre méthodologie sur le sous-domaine des blocs opératoires

4.1. Choix des méthodes et outils

Outre les objectifs généraux rappelés en introduction de la deuxième partie, le travail réalisé sur le sous-domaine des blocs opératoire doit répondre à un autre objectif, lié à la nature même de son activité : proposer, pour un dimensionnement donné, une planification et un ordonnancement admissibles des opérations correspondant.

Afin de traiter les problématiques que nous avons identifiées, nous avons proposé :

- des méthodes exactes (modèles mathématiques résolus par un solveur) : ces méthodes ne nous permettaient pas d'exploiter un fichier d'activité dans sa globalité car le nombre d'interventions à prendre en considération était alors beaucoup trop élevé pour permettre une résolution en un temps satisfaisant les utilisateurs (quelques minutes), mais elles nous ont permis de valider l'efficacité des heuristiques pour le problème de dimensionnement.
- des méthodes approchées (heuristiques et métaheuristiques) : particulièrement utiles pour les problèmes de grande taille et les problèmes d'optimisation.
- un modèle de simulation : indispensable à l'évaluation de la performance et au suivi continu de l'activité, comme par exemple le nombre d'équipe nécessaires à tout instant pour une planification et un ordonnancement donné.

Nous avons donc sélectionné un certain nombre de méthodes et outils. La Figure 9-3 donne l'architecture de l'environnement logiciel de l'outil d'aide à la décision pour les blocs opératoires. Nous précisons pour chacune des couches les langages et logiciels utilisés pour la conception d'un outil d'aide à la décision pour tout système du sous-domaine.

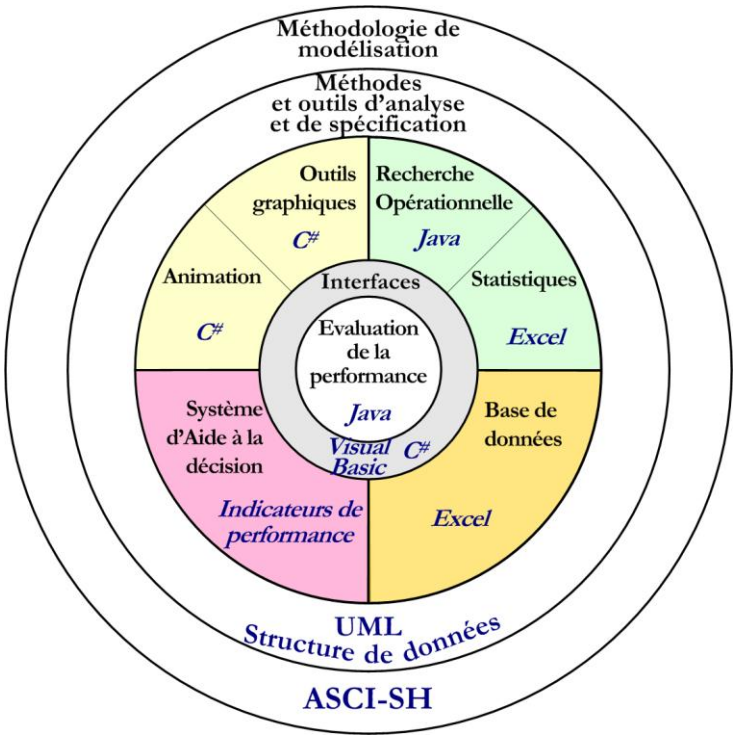


Figure 9-3. Environnement logiciel de l'outil pour le sous-domaine des blocs opératoires

Le noyau de l'environnement est composé d'un modèle de simulation réalisé en langage de programmation (Java) couplé à des méthodes approchées (couche « Recherche opérationnelle ») permettant le dimensionnement de la structure et la proposition d'une planification et d'un ordonnancement admissible de l'activité.

Pour le dimensionnement, la planification et l'ordonnancement de l'activité, nous choisissons d'utiliser des heuristiques basées sur le bin-packing. Les heuristiques offrent plusieurs avantages :

- elles sont relativement robustes (bien qu'elles ne garantissent pas l'obtention d'une solution optimale, elles aboutissent généralement à une bonne solution en quelques secondes) ;
- elles sont simples à mettre en œuvre et permettent d'intégrer des informations spécifiques au problème ;
- elles facilitent la prise en compte d'objectifs complexes et elles permettent de travailler avec des jeux de données importants dans un temps très rapide.

Pour améliorer la planification et l'ordonnancement obtenus, nous proposerons l'utilisation de métaheuristiques basées sur le recuit simulé.

Pour la partie base de données et le travail statistique nous utilisons le tableur Excel. Nous avons également utilisé Excel, dans un premier temps, pour la présentation graphique des résultats avant de réaliser des interfaces plus abouties en langage C#.

La partie aide à la décision est alimentée par les indicateurs que l'on retrouve dans le modèle de résultats.

Pour l'analyse et la spécification, les parcours patient ne présentant pas de complexité particulière, nous avons utilisé le langage UML associé à une structure de données.

Nous détaillons le processus de modélisation présenté dans la partie 1 à l'aide de la Figure 9-4 . Nous proposons :

- un chaînage entre les heuristiques et la simulation, le modèle de simulation permettant d'évaluer et de comparer les résultats donnés par les heuristiques mais également de proposer un ordonnancement admissible ;
- un couplage entre la simulation et des métaheuristiques afin d'optimiser la planification et l'ordonnancement proposés.

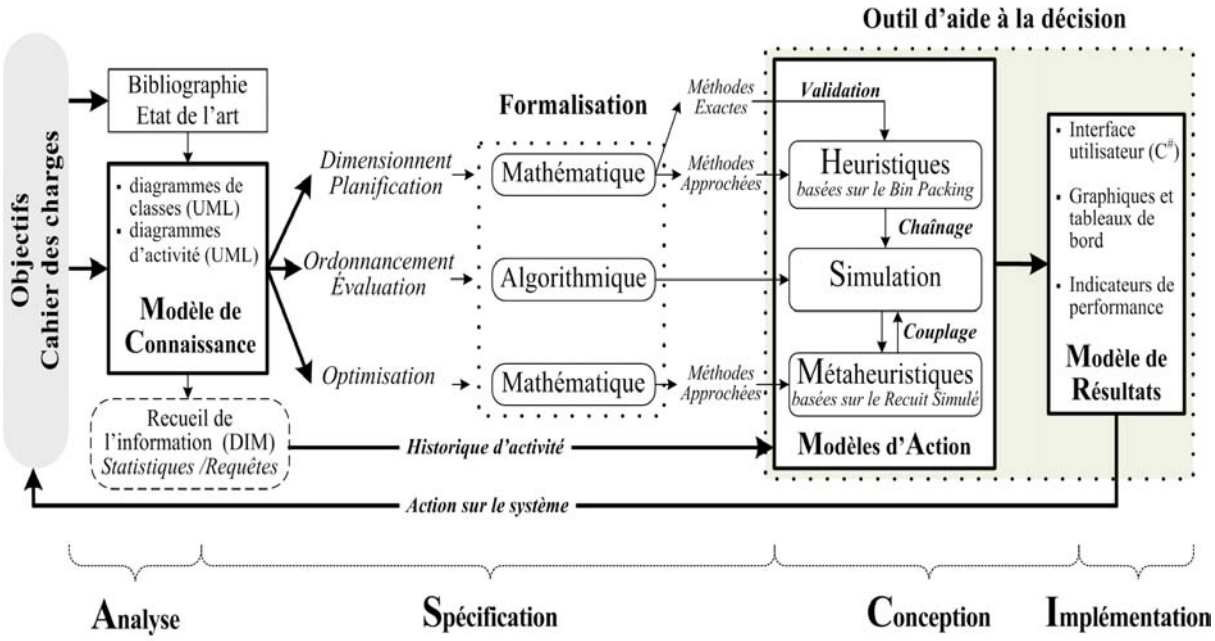


Figure 9-4. Démarche de conception de l'outil pour le bloc opératoire

4.2. Conception du modèle générique de connaissance du sous-domaine des blocs opératoires et instanciation sur le système

4.2.1. Décomposition systémique

Pour la décomposition systémique du sous-domaine, nous reprenons le diagramme de classe de la décomposition du domaine (Figure 6-1, Chapitre 6, p. 105) et spécialisons les principales classes.

Comme pour le sous-domaine des blocs obstétricaux, nous faisons apparaître en pointillés dans les diagrammes de classes du sous-domaine des blocs les classes qui ne sont pas sélectionnées lors de l'instanciation du modèle générique du sous-domaine sur le système présenté dans la section 5.

4.2.1.a. Sous-Système Physique

La Figure 9-5 donne les relations d'héritage de la classe « Resource Humaine » et permet d'identifier l'ensemble des ressources humaines présentent dans les blocs opératoires par corps de métier. Pour ce sous-domaine, nous ne nous plaçons pas au niveau des ressources humaines mais plutôt aux niveaux des équipes. Notre objectif sera donc uniquement de dimensionner les équipes en distinguant les différents types d'équipes prenant en charge l'activité. Nous verrons un peu plus loin quels sont ces différentes équipes.

La Figure 9-6 donne les relations d'héritage de la classe « Resource Matérielle ».

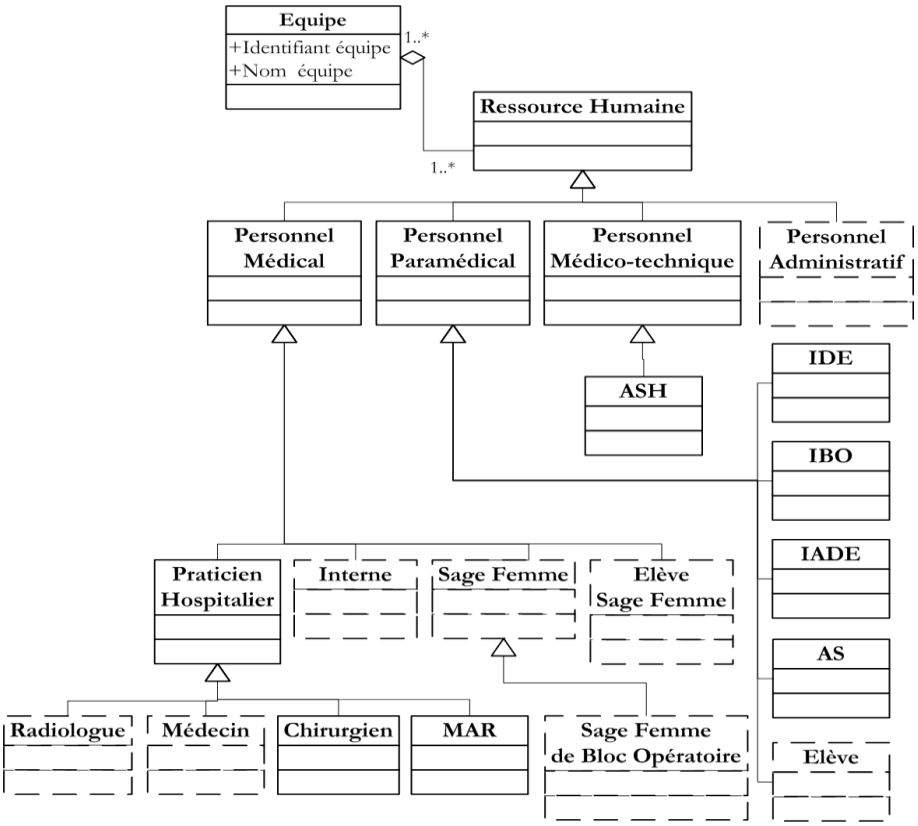


Figure 9-5. Relations d'héritage de la classe « Ressource Humaine »

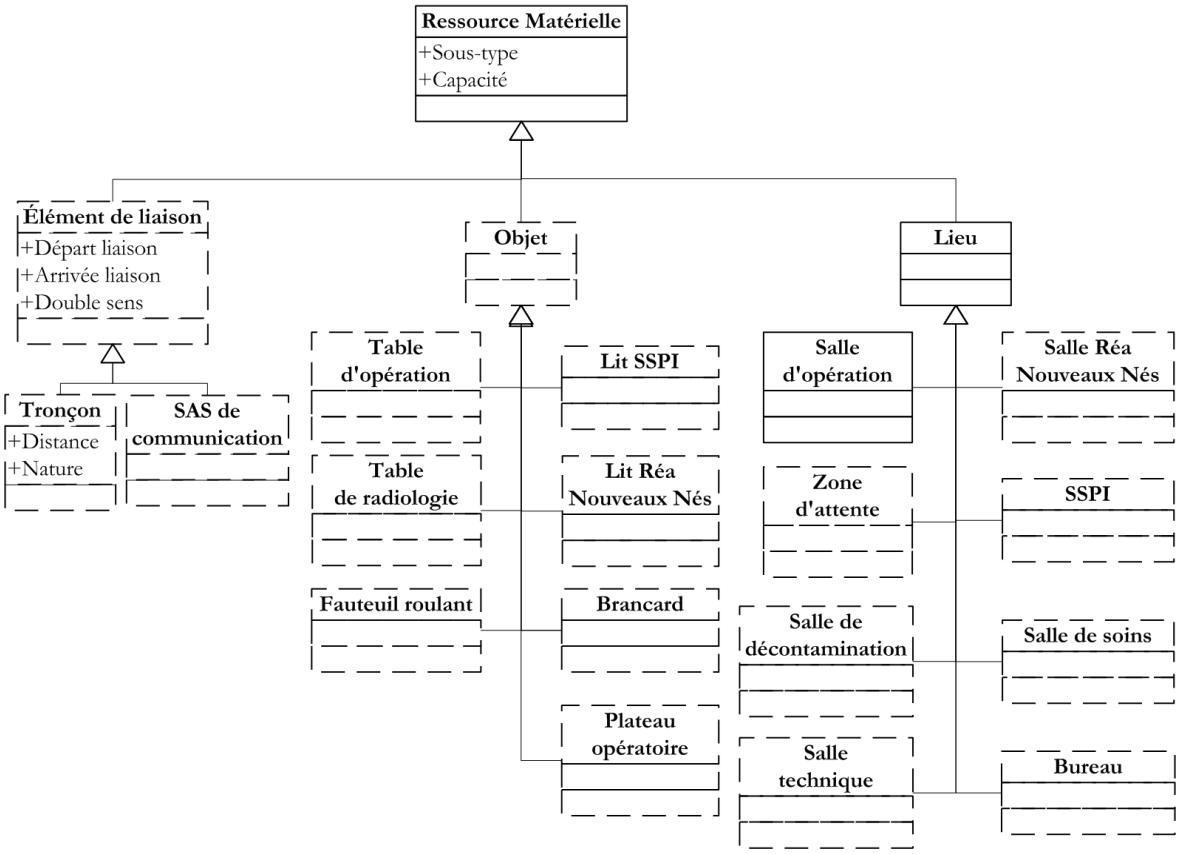


Figure 9-6. Relations d'héritage de la classe « Ressource Matérielle »

4.2.1.b. Sous-Système Logique

La Figure 9-7 donne les relations d'héritage de la classe « Parcours patient » tandis que l'activité opératoire liée au patient est décomposée en plusieurs traitements élémentaires schématisés sur la Figure 9-8. Pour cette décomposition, nous prenons celle préconisée par la Meah pour le calcul du Temps réel d'occupation de la salle.

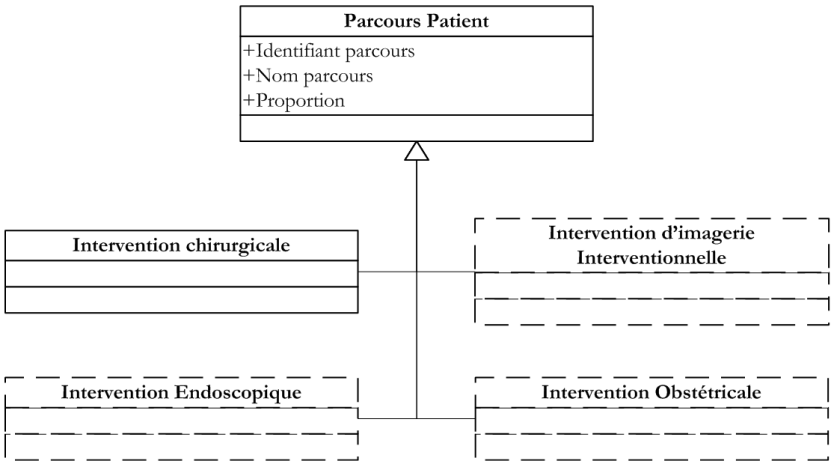


Figure 9-7. Relations d'héritage de la classe « Parcours Patient »

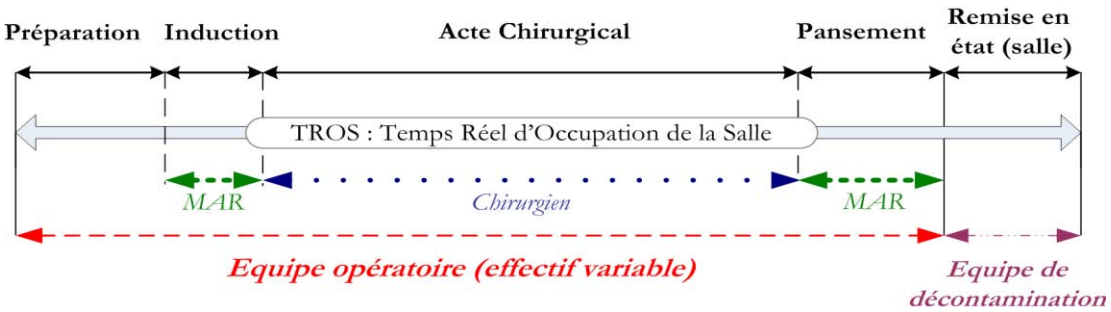


Figure 9-8. Découpage de l'activité opératoire

L'activité opératoire mobilise des équipes à effectifs variables : par exemple, selon le cas (disponibilité, état de patient…) le Médecin Anesthésiste Réanimateur (MAR) pourra être intégré à l'équipe opératoire pour l'ensemble de l'intervention, ou bien intervenir ponctuellement lors des phases (traitements élémentaires) d'induction et de pansement. De la même façon, le chirurgien pourra rester auprès du patient pour l'ensemble de l'intervention ou uniquement pour l'acte chirurgical à proprement parlé. L'équipe de décontamination interviendra, pour sa part, pour la décontamination et la remise en état de la salle.

4.2.1.c. Sous-Système Décisionnel

Comme pour le bloc obstétrical, le centre de décision et le centre de pilotage sont fortement dépendants du type de structure et de la politique de l'établissement.

4.2.2. Spécification des règles de gestion

On retrouve dans le Tableau 9-1 les quatre principales règles de gestion pour les ressources humaines sélectionnées dans le modèle générique de connaissance du domaine.

Une règle spécifique au sous-domaine est : par défaut, les ressources humaines occupées sur une intervention chirurgicale ne sont pas préemptables (elles ne peuvent pas quitter leur activité).

Règle n°3	Les ressources interviennent prioritairement dans leur secteur d'affectation. Elles peuvent ensuite éventuellement intervenir dans des zones ne faisant pas partie de leur secteur d'affectation.
Règle n°4	Si des ressources humaines disponibles sont appelées dans un autre secteur que leur secteur d'affectation, l'opération *i* appelle les ressources par ordre de proximité de leur localisation. Si plusieurs équipes de ressources distinctes peuvent être appelées pour réaliser le traitement, c'est la dernière équipe de ressources (qui correspond souvent à la plus « allégée ») qui est appelée.
Règle n°5	Pour qu'un traitement élémentaire *i* puisse préempter les ressources occupées sur un autre traitement *k,* il faut : – que la priorité de *i* soit élevée (*[Traitement élémentaire].Niveau de priorité*) ; – que le traitement *k* autorise la préemption (*[Traitement élémentaire].Niveau de préemption*) ; – que l'écart de priorité entre les deux traitements pour lequel *k* accepte d'être préempté, soit atteint (*[Traitement élémentaire].Niveau de préemption*).
Règle n°6	Si des ressources humaines, occupées sur un traitement *i*, sont préemptées pour intervenir prioritairement sur un traitement *k*, le traitement *k* qui préempte les ressources appelle prioritairement les ressources utilisées dans des zones de soins non directes (c'est à dire sans patient : bureau, locaux techniques...) puis il appelle les ressources par ordre de proximité de leur zone d'occupation. Si plusieurs équipes de ressources distinctes peuvent être appelées pour réaliser le traitement, c'est la dernière équipe de ressources qui est appelée.

Tableau 9-1. Règles de gestion issues du domaine pour le sous-domaine des blocs opératoires

4.2.3. Spécification du comportement des entités

La Figure 9-9 donne la partie du parcours « Intervention Chirurgicale » se déroulant en salle d'opération représentée par un diagramme d'activité.

Pour la problématique principale de dimensionnement de la structure qui passe par la résolution de la planification de l'activité, nous avons choisi de considérer que le chirurgien et le médecin anesthésiste faisaient partie intégrante de l'équipe opératoire.

Après avoir réalisé le modèle de connaissance du bloc opératoire, nous poursuivons notre démarche en présentant les règles de passage du modèle de connaissance au modèle d'action pour la conception et l'implémentation de l'outil.

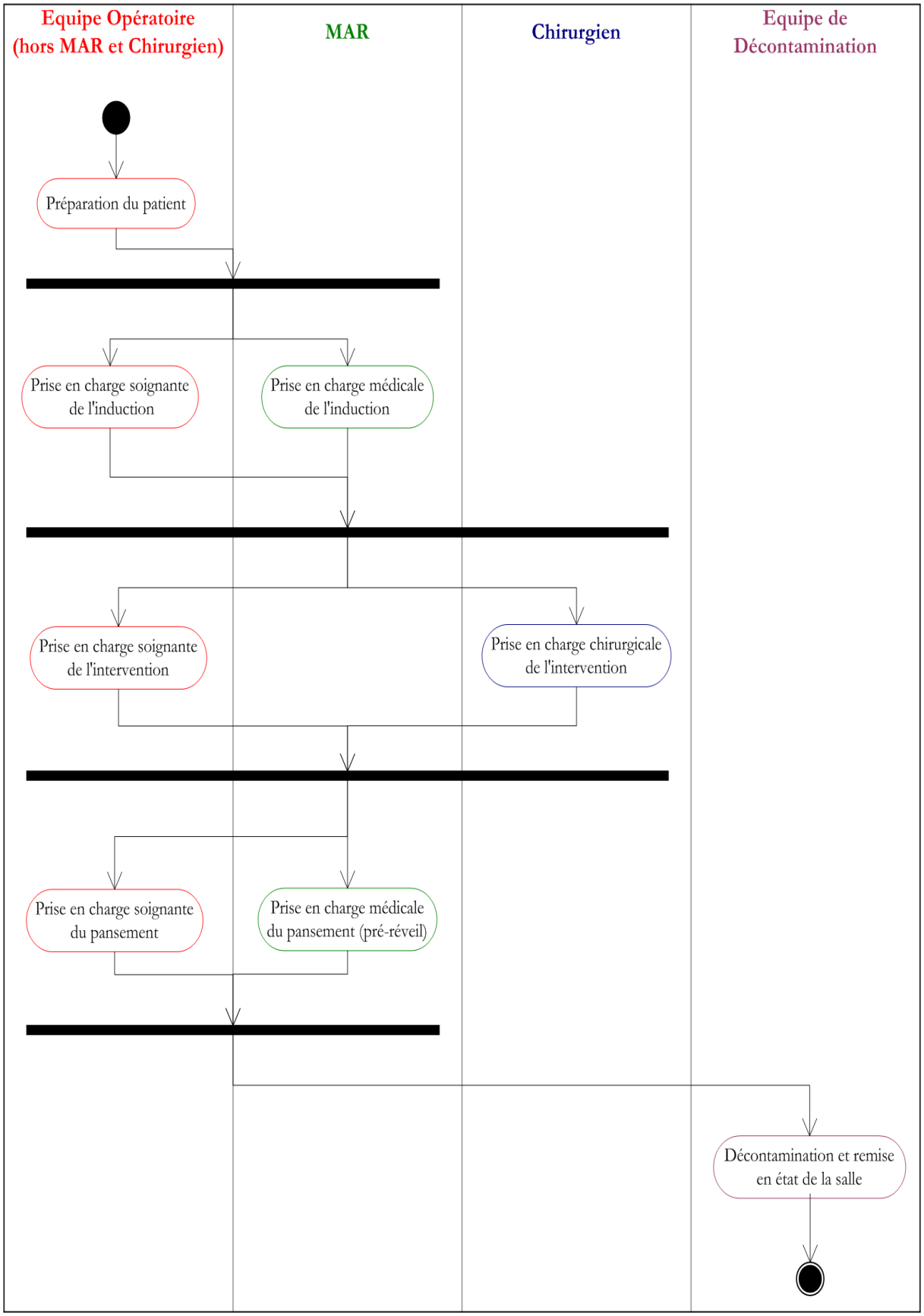


Figure 9-9. Partie du Parcours « Intervention Chirurgicale » pris en charge en salle d'opération

4.3. Règles de passage du modèle de connaissance au modèle d'action

Comme nous l'avons vu lors de la présentation de l'environnement logiciel, le cœur de notre outil de dimensionnement est réalisé en langage de programmation permettant de chaîner des heuristiques de dimensionnement avec un modèle de simulation. Dans un deuxième temps, cet ensemble peut être couplé avec des métaheuristiques pour résoudre la problématique d'optimisation de l'ordonnancement.

Nous avons donc formalisé mathématiquement le problème de dimensionnement, avant de présenter sa résolution par des heuristiques couplées avec un modèle de simulation pour l'évaluation des solutions proposées.

Le Tableau 9-2 donne la correspondance entre les données utilisées pour cette formalisation mathématique et les objets UML issus du diagramme de classes du sous-domaine.

Données utilisées pour la formalisation mathématique		**Objets UML**	
		Classe	**Attribut(s) et *méthode(s)***
t_i	durée de l'opération	Traitement élémentaire	Type de durée Paramètre durée *Estimer la durée ()*
s_i	spécialité de l'opération	Traitement élémentaire	Spécialité
d_{jk}	durée d'ouverture de la salle	Planning	Horaires
a_{sj}	spécialité de la salle	Ressource Matérielle	Sous-type

Tableau 9-2. Correspondance entre les données utilisées pour la formalisation mathématique et les objets UML

4.4. Sélection des composants logiciels du domaine et conception d'une bibliothèque pour le sous-domaine

Nous avons donné en introduction de la partie 2, dans le chapitre 7, les composants logiciels du domaine sélectionnés et utilisés pour chaque sous-domaine.

Les principaux composants logiciels conçu et implémentés pour le sous-domaine des blocs opératoires concernent la problématique du dimensionnement, de la planification et de l'ordonnancement de l'activité opératoire que nous avons exposé dans la section 3. Ces composants ont été implémentés en langage Java et sont donnés dans le Tableau 9-3.

J_1	Proposition d'une planification et d'un ordonnancement de l'activité opératoires admissibles et de son évaluation
J_2	Amélioration d'un ordonnancement d'activité opératoire initialement obtenu

Tableau 9-3. Composants logiciels du domaine codés en Java

4.5. Modèle de résultats pour le sous-domaine

Le modèle de résultats pour le sous-domaine contient les mêmes indicateurs que celui donné pour le domaine et présenté par le Tableau 6-9 (p. 131).

Le Tableau 9-4 donne les principaux résultats obtenus en précisant si ces derniers le sont à partir des heuristiques *[H]* ou de la simulation *[S]*. Des éléments de réponse sont apportés pour l'ensemble des horizons temporels et niveaux de modélisation (matrice 3x3). Les heuristiques

permettent de répondre aux problématiques de dimensionnement et planification et de donner un ordonnancement admissible des interventions chirurgicales, tandis que le modèle de simulation s'avère nécessaire, au niveau opérationnel, pour l'évaluation de la performance des solutions obtenues.

Résultats obtenus	***Horizon temporel / Niv. de Modélisation***
Nombre global de salles à construire *[H]* Nombre maximum d'équipes à prévoir (opératoires et de décontamination) *[H]*	*Stratégique / Macro*
Type de salles à construire (spécialisés, polyvalentes) *[H]*	*Stratégique / Meso.*
Répartition de l'activité opératoire et de décontamination *[H]*	*Stratégique / Micro*
Nombre global de salles à ouvrir par semaine *[H]* Nombre maximum d'équipes à prévoir par semaine *[H]* Taux d'occupation moyen du bloc *[H]*	*Tactique / Macro.*
Nombre de salles à ouvrir par spécialité et par semaine *[H]*	*Tactique / Meso*
Planification des opérations par salle et par jour *[H]*	*Tactique / Micro.*
Taux d'occupation minimum, maximum et moyen des salles pour la période *[S]* Nombre maximum d'équipes par jour et par spécialité pour la période *[S]*	*Opérationnel / Macro.*
Taux d'occupation moyen des salles par jour *[S]* Répartition quotidienne des spécialités dans les salles polyvalentes *[H]* Nombre d'équipes occupées à chaque instant *[S]*	*Opérationnel / Meso.*
Salle affectée à chaque opération *[H]* Equipes affectées à chaque opération *[H]* Ordonnancement des opérations (date de début et date de fin) *[S]* Taux d'occupation de chaque salle par jour *[S]*	*Opérationnel / Micro.*

Tableau 9-4. Résultats obtenus à partir des heuristiques et de la simulation

5. Le bloc opératoire du NHE

5.1. Présentation

Dans la structure pavillonnaire de l'Hôtel-Dieu, nous identifions quatre sites distincts qui se partagent les différentes salles d'opération.

- Au niveau du Centre Hépato Gastro-Entérologie :
  - un bloc chirurgical dédié à la chirurgie digestive, composé de 3 salles d'opération et d'une SSPI (salle de soins post-interventionnels);
  - un bloc de 2 salles et une SSPI réservés à l'endoscopie.
- Au niveau de la maternité :
  - un bloc chirurgical avec 3 salles d'opération et une SSPI qui prennent en charge les activités de chirurgie gynécologique ainsi que les césariennes.
  - un bloc obstétrical avec 4 salles d'accouchement ;
- Au niveau du bâtiment principal :

- un bloc chirurgical pour la chirurgie maxillo-faciale qui regroupe 3 salles d'opération et une SSPI localisées au bloc central (1er étage) ;
- un bloc chirurgical pour la chirurgie infantile qui regroupe également 3 salles d'opération et une SSPI également localisées au bloc central (2ème étage) et qui accueille les urgences pédiatriques du CHU.
- une salle en radiologie accueillant l'activité d'imagerie interventionnelle.

– Au niveau de la polyclinique
  - un bloc chirurgical de 2 salles d'opération (3ème étage) et une SSPI;
  - un bloc avec 1 salle d'opération réservé aux Fécondations In Vitro (FIV) et aux Interruptions Volontaires de Grossesse (IVG) (1er étage) et une SSPI;
  - un bloc obstétrical avec 3 salles d'accouchement et une salle d'opération pour les césariennes (4ème étage).

L'Hôtel-Dieu compte donc actuellement :

– 14 salles d'opération pour la « chirurgie classique » regroupées au sein de 4 blocs chirurgicaux distincts (dont une salle qui prend également en charge les activités de césarienne et de chirurgie obstétrique de la maternité) ;
– 1 salle d'opération réservée aux FIV et IVG de la polyclinique ;
– 1 salle en radiologie accueillant l'activité d'imagerie interventionnelle ;
– 2 salles d'endoscopie ;
– 1 salle d'opération réservée aux césariennes de la polyclinique ;
– 7 salles d'accouchement.

L'ensemble de l'activité chirurgicale et de l'activité d'imagerie interventionnelle est regroupé au NHE au sein d'un seul et unique bloc central. Les activités que nous avons vues précédemment, se répartissent comme suit :

Activité des 14 salles d'opération de « chirurgie classique » (hors césariennes)	⇨	Bloc Central NHE
Activité de FIV et IVG de la polyclinique	⇨	Bloc Central NHE *(une salle dédiée FIV/IVG et petits actes chirurgicaux)*
Activité de la salle d'imagerie interventionnelle	⇨	Bloc Central NHE *(une salle d'imagerie interventionnelle)*
Activité des 2 salles d'endoscopie	⇨	Secteur Endoscopie NHE
L'activité de césariennes de la maternité et de la polyclinique	⇨	Bloc Obstétrical NHE
7 salles d'accouchement	⇨	Bloc Obstétrical NHE

5.2. Modèle de connaissance du bloc opératoire du NHE

5.2.1. Décomposition systémique

5.2.1.a. Sous-système physique

Les managers hospitaliers du bloc opératoire du NHE n'ont pas souhaité tenir compte des médecins et radiologues réalisant l'activité d'endoscopie et d'imagerie interventionnelle. En effet, ces derniers auront une salle qui sera spécialement dédiée à leur activité et qui ne rentre donc pas dans notre travail de dimensionnement. L'ensemble des ressources humaines rattachées à l'activité obstétricale ne sont pas non plus prises en compte puisque celle-ci se déroulera dans le boc obstétrical du NHE. A leur demande, nous nous sommes également limités à la prise en compte des salles d'opération. En effet, les salles prévues pour les lits de soins Post Interventionnels ont largement été dimensionnées et ne devrait donc pas constituer de goulots d'étranglement pouvant avoir une incidence sur le fonctionnement du bloc opératoire. De la même façon, les brancards seront remplacés au NHE par les plateaux des tables d'opération qui seront amovibles et directement dimensionnés en fonction du nombre de salles d'opération construites.

Le bloc opératoire du NHE sera composé de trois zones :

- une zone opératoire principalement composée des salles d'opération et des salles techniques attenantes,
- une zone de réveil permettant l'accueil des patients et leur suivi post interventionnel avec notamment l'ensemble des salles de réveil,
- une dernière zone plus technique de décontamination comprenant les vestiaires médicaux et soignants ainsi que l'espace de pré-décontamination du matériel (la décontamination étant externalisée).

Pour répondre aux objectifs fixés, nous n'avons donc besoin de nous intéresser qu'à la première zone.

5.2.1.b. Sous-Système Logique

Comme nous le voyons avec les relations d'héritage de la classe « Parcours patient » (Figure 9-7, p. 178), nous ne prenons en compte que les patients venant pour une intervention chirurgicale, les autres activités n'étant pas à dimensionner.

5.2.1.c. Sous-Système Décisionnel

Pour le bloc opératoire du NHE. Le centre de décision regroupe le conseil de bloc et le conseil de Pôle tandis que le centre de pilotage réuni les médecins, radiologues, chirurgiens et soignants qui pilotent la structure au quotidien.

5.2.2. Règles de gestion et comportement des entités

Les règles de gestion et le comportement des entités du système sont les mêmes que celles du sous-domaine (4.2.2).

5.2.3. Conclusion sur le travail réalisé sur le bloc opératoire du NHE

Le travail réalisé sur le bloc opératoire du NHE a fait l'objet d'un rapport interne (Rodier, 2008a).

Afin de dimensionner au mieux le futur bloc opératoire et pour répondre à la demande des chirurgiens concernés par le déménagement de leurs spécialités vers le NHE, nous avons choisi

de travailler à partir d'un historique des données opératoire issu du système d'information de l'hôpital (Département d'Informatique Médical : DIM) qui regroupe les 3 677 interventions avec leurs temps effectuées au premier semestre 2007 sur 20 semaines pleines d'activité des blocs opératoires de l'Hôtel-Dieu par les quatre spécialités chirurgicales de l'hôpital. Un travail statistique a été réalisé sur les données afin de compléter les temps manquant et d'obtenir un modèle de la charge. Nous avons considéré l'ensemble des interventions effectuées au bloc opératoire, sans prendre en compte dans un premier temps les urgences hors ouverture du bloc (nuit et week-end) étant donné que le nombre de salles à construire pour l'activité programmée permettra largement d'absorber ce flux d'urgence. Le fichier de données ainsi obtenu a été validé par les chirurgiens et a été utilisé en entrée de l'outil proposé pour permettre le dimensionnement de la structure.

L'outil d'aide à la décision pour le bloc opératoire et son utilisation sont présentés dans l'Annexe V (p. 259). Cet outil tel qu'il a été interfacé pour répondre au mieux aux attentes des utilisateurs. Les résultats ont été présentés à la Direction de l'Hôtel-Dieu et aux chirurgiens chefs de service. A cette occasion, la démarche suivie, les données utilisées ainsi que les résultats obtenus ont été validés.

6. Conclusion

Nous avons proposé dans ce chapitre la mise en œuvre de la méthodologie ASCI-SH sur le sous-domaine des blocs opératoires. Pour cela, nous nous sommes intéressés à la problématique du dimensionnement, de la planification et de l'ordonnancement de l'activité opératoire.

Avec la mise en œuvre d'ASCI-SH, nous avons proposé un modèle générique de connaissance, une bibliothèque de composants logiciels et un modèle de résultats pour le sous-domaine des blocs opératoires.

Comme pour le sous-domaine des blocs obstétricaux, le contexte dans lequel se sont déroulés nos travaux nous a permis de valider la généricité de nos modèles. En effet, nous avons pu instancier notre modèle de connaissance sur cinq systèmes différents du sous-domaine, quatre existants et un à concevoir :

- les quatre blocs opératoires de l'Hôtel-Dieu ;
- le futur bloc central du NHE.

A partir du modèle générique de connaissance du sous-domaine des blocs opératoires de celui-ci, nous avons développé un outil apportant des éléments de réponses aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel pour les problèmes de dimensionnement, de planification et d'ordonnancement de l'activité opératoire. Contrairement aux outils trouvés sur le marché, notre application permet d'intervenir en amont de la construction d'un bloc opératoire en vue d'en dimensionner au mieux les ressources humaines et matérielles. De plus, cet outil ne s'intéresse pas au suivi de l'activité mais propose une véritable aide à la décision pour la planification et l'ordonnancement des opérations. Le choix est ensuite laissé aux utilisateurs d'accepter la solution proposée, de chercher à l'optimiser à l'aide de métaheuristiques ou de la modifier manuellement en fonction de nouvelles contraintes.

Les intérêts majeurs de cet outil sont qu'il est totalement générique et qu'il permet d'obtenir des résultats très rapidement (quelques secondes suffisent pour les heuristiques).

Sa conception, détaillée dans l'Annexe V, sous forme de « boîte à outils » composée de plusieurs modules lui permet d'évoluer en intégrant facilement de nouvelles méthodes et outils pour des problèmes d'optimisation ou d'évaluation de la performance (comme par exemple de nouvelles métaheuristiques).

En travaillant sur des données réelles plutôt que sur des temps moyens, comme c'est le cas la plupart du temps, nous avons répondu à la demande des chirurgiens soucieux que l'on prenne en compte la réalité du système. Cet outil a été validé par les hospitaliers et a servi de base au dimensionnement du futur bloc opératoire du Nouvel Hôpital d'Estaing en apportant les informations nécessaires concernant le nombre de salles à construire et à ouvrir pour absorber différents niveaux d'activité.

Ces travaux ont été présentés dans des conférences (Cassagne, Gourgand, and Rodier, 2008; Gourgand and Rodier, 2008b, a) et font l'objet d'une publication dans la revue Supply Chain Forum (Gourgand and Rodier, 2010).

Différentes perspectives s'offrent à nous. Une des principales concerne l'évolution de cet outil afin qu'il puisse facilement communiquer avec les progiciels de gestion médicale. Une deuxième perspective tout aussi intéressante consiste à adapter cet outil sur d'autres problématiques que celle des blocs opératoires.

Chapitre 10

Le sous-domaine des unités de soins

Sommaire

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous nous intéressons au sous-domaine des unités de soins. Au cœur des structures hospitalières, les unités de soins assurent la prise en charge médicale et l'hébergement des patients.

Nos travaux se placent dans la continuité de ceux de (Chauvet, 2009) qui propose un modèle générique de connaissance des unités de soins du NHE en vue, principalement, de dimensionner la structure et les ressources humaines. Pour la formalisation de l'activité et des ressources, nous nous plaçons à un niveau de modélisation plus fin afin de compléter ce travail et proposons un modèle de connaissance du sous-domaine des unités de soins à partir du modèle générique de connaissance des systèmes hospitaliers présenté dans la première partie de cette thèse. Les outils que nous souhaitons réaliser doivent permettre, entre autres, de tester différents scenarii organisationnels en faisant varier la charge du système, les quantités de ressources, les plannings mais également de tester et de comparer des règles de gestion (par exemple autorisation ou non pour les ressources humaines d'intervenir dans d'autres secteurs que leur secteur d'affectation). Comme nous le verrons dans la seconde section de ce chapitre, où nous présentons le sous-domaine et les systèmes étudiés, nous sommes confrontés ici encore à des problèmes nouveaux et difficiles concernant notamment la prise en charge de l'activité par les ressources : les modalités de cette prise en charge sont étroitement liées aux secteurs d'affectation des ressources, qui sont multiples et variables dans les unités de soins.

Nous présentons dans la deuxième section le sous-domaine des unités de soins avant de mettre en œuvre notre méthodologie dans la troisième section et de présenter dans la quatrième section l'instanciation du modèle générique de connaissance du sous-domaine obtenu sur une unité de soins du NHE.

2. Présentation du sous-domaine des unités de soins

Si l'on peut, en première approximation, considérer l'unité de soins comme un système de production d'actes médicaux au sein d'un hôpital (Jean *et al.*, 1994), son fonctionnement se montre dans la réalité plus complexe.

Cette complexité n'existe pas, a priori, pour la modélisation des ressources matérielles, qui se limite la plupart du temps à la prise en compte des lits et, éventuellement, de certaines salles spécifiques (salle de soins, salle de décontamination…). Elle se retrouve par contre, comme c'est souvent le cas pour les systèmes hospitaliers (Chabrol, Gourgand, and Rodier, 2008c, 2009), dans la modélisation fine des activités et des ressources humaines qui réalisent ces activités.

L'analyse du travail dans une unité de soins permet de montrer rapidement la nature coopérative des tâches qui s'y effectuent et l'importance du facteur humain. L'interaction de différentes personnes d'une équipe est un processus complexe où chaque participant intervient avec des moyens et des procédures différenciés. De ces interactions et des différentes règles de gestion qui régissent le système, résultent une à plusieurs équipe(s) possible(s) pour pouvoir réaliser chaque traitement élémentaire. A cette première complexité s'ajoute celle des secteurs. Cet élément représente la grande spécificité de ce sous-domaine comme le rappelle la Figure 10-1 qui reprend la typologie du sous-domaine des unités de soins. En effet, par rapport aux autres sous-domaines étudiés, les secteurs dans les unités de soins sont généralement plus nombreux et varient selon :

- les fonctions des ressources humaines (médecin, infirmier…) voir les ressources humaines elles-mêmes (infirmière spécialisée…) ;

- les plannings horaires (par exemple, les secteurs de nuit regroupent en général plus de chambres que les secteurs de jour, l'activité moyenne par chambre étant moindre).

Ces secteurs ne forment pas toujours une partition mais au contraire peuvent se chevaucher, comme nous l'avons vu dans la première partie de cette thèse.

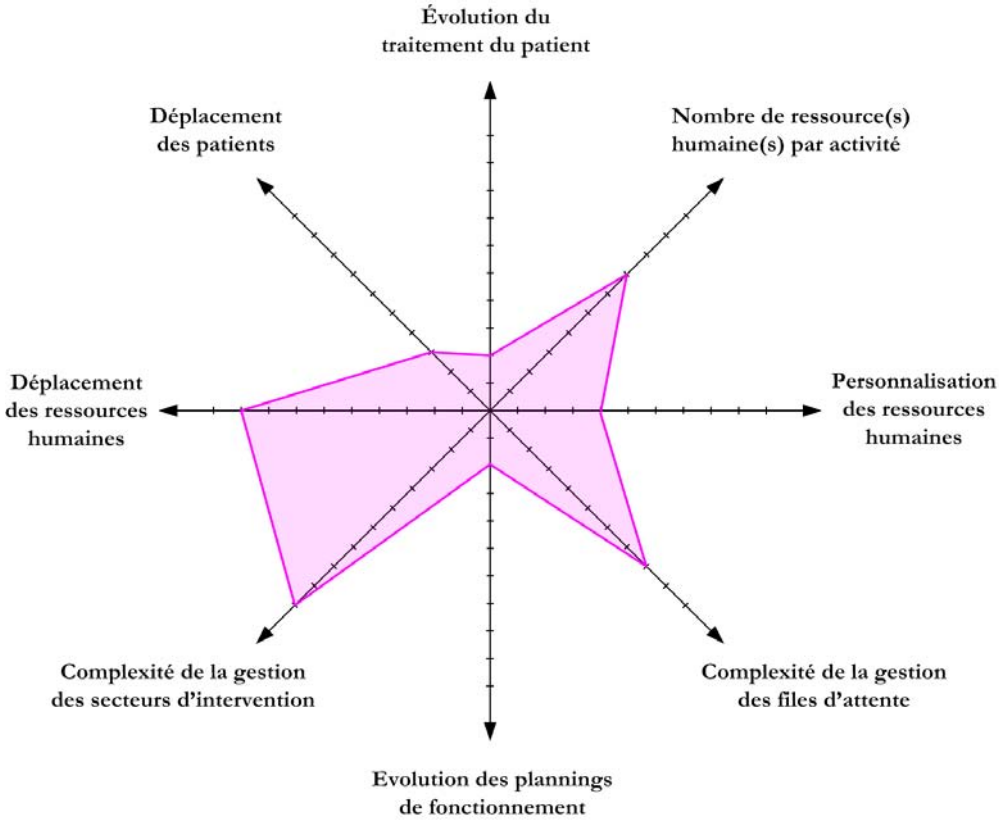


Figure 10-1. Typologie du sous-domaine des unités de soins

3. Mise en œuvre de notre méthodologie pour le sous-domaine des unités de soins

3.1. Choix des méthodes et outils

Pour répondre aux objectifs généraux rappelés dans le chapitre 7, nous avons sélectionné des méthodes et des outils. La Figure 10-2 donne l'architecture de l'environnement logiciel pour les unités de soins. Comme pour les autres sous-domaines, nous précisons pour chacune des couches les langages et logiciels utilisés pour la conception de l'outil d'aide à la décision dédié au système que nous étudierons dans la quatrième section.

Les objectifs et problématiques étant similaires à ceux de l'outil réalisé pour le bloc obstétrical, l'architecture des environnements logiciels des deux sous-domaines sont identiques. Quelques différences sont toutefois à noter au niveau des langages et outils utilisés :

- au niveau de la présentation graphique, aucune animation n'a été prévue (contrairement au bloc obstétrical où le logiciel Witness permettait de visualiser la simulation sur le plan du système étudié), afin de pouvoir avoir un outil le plus générique possible ;
- au niveau des méthodes et outils d'analyse et de spécification, nous sommes partis du travail de formalisation de la connaissance réalisé à partir de Chaînes de Processus

Événementiels ARIS pour les parcours patient, que nous avons complété à l'aide d'une structure de données permettant de récolter les attributs manquant.

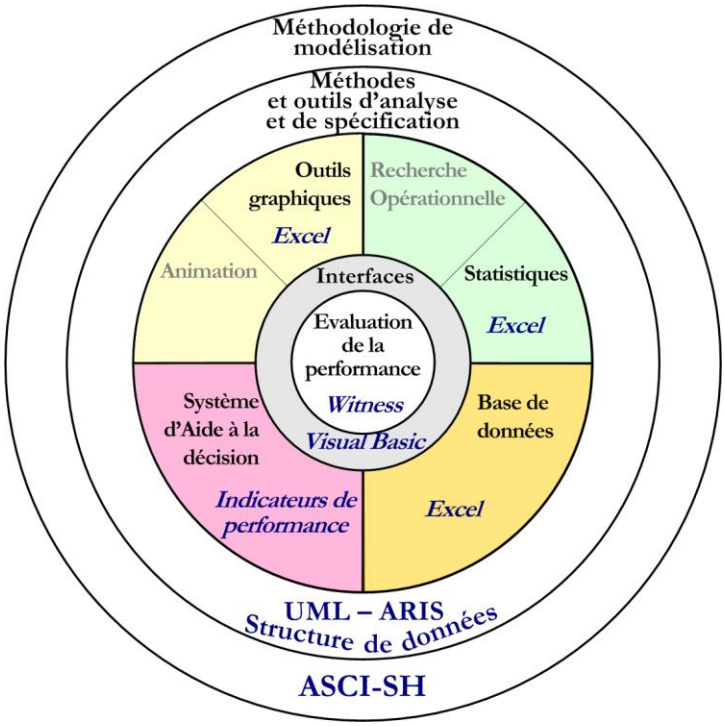


Figure 10-2. Environnement logiciel de l'outil pour le sous-domaine des unités de soins

3.2. Conception du modèle générique de connaissance du sous-domaine des unités de soins

Comme pour les autres sous-domaines étudiés, le modèle de connaissance du sous-domaine des unités de soins est une instance du modèle générique du domaine. La démarche étant toujours la même, nous la présentons très rapidement.

3.2.1. Décomposition systémique

Nous spécialisons les principales classes des différents sous-systèmes du domaine en donnant leurs relations d'héritage. Une fois de plus, afin de ne pas alourdir le document, dans les diagrammes de classes du sous-domaine, nous avons mis en pointillés les classes qui ne sont pas sélectionnées lors de l'instanciation du modèle générique de connaissance du sous-domaine sur un système que nous étudions dans la section 3.5.

3.2.1.a. Sous-Système Physique

La Figure 10-3 donne les relations d'héritage de la classe « Ressource Humaine » et permet d'identifier l'ensemble des ressources humaines présentent dans les unités de soins par corps de métier.

La Figure 10-4 donne les relations d'héritage de la classe « Ressource Matérielle ».

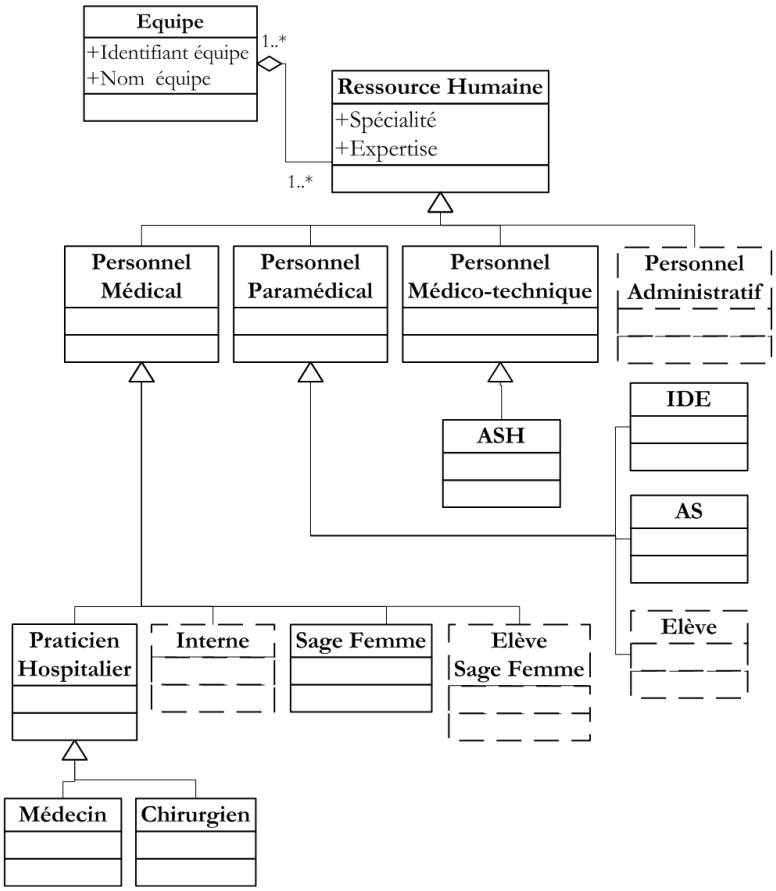


Figure 10-3. Relations d'héritage de la classe « Ressource Humaine »

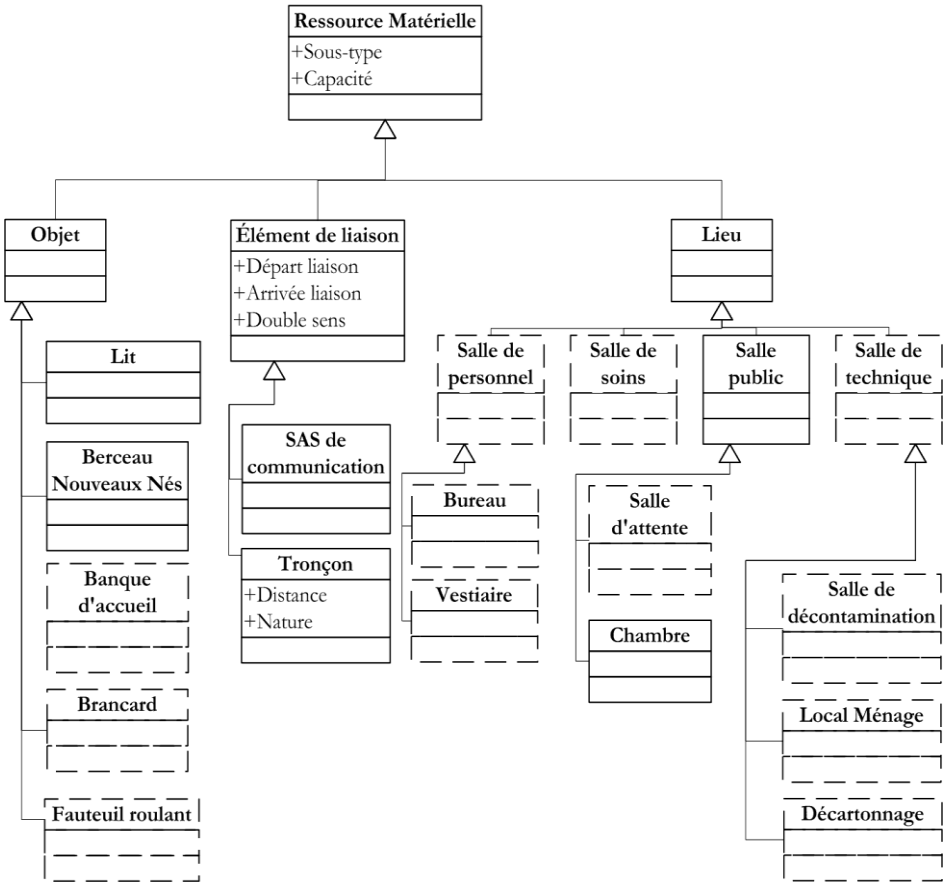


Figure 10-4. Relations d'héritage de la classe « Ressource Matérielle »

3.2.1.b. Sous-Système Logique

La classe « Parcours » permet de faire varier le niveau de modélisation choisi pour le patient :

- au niveau macroscopique, tous les patients sont représentés par un unique parcours ;
- au niveau microscopique, à chaque patient correspond un parcours ;
- au niveau intermédiaire (mesoscopique), le parcours représente un ensemble de patients.

Nous avons choisi de modéliser les parcours patient au niveau mesoscopique. En concertation avec les cadres de supérieurs de plusieurs unités de soins, nous avons modélisé le parcours patient comme un ensemble des traitements élémentaires dont bénéficient les patients pouvant présenter des pathologies différentes.

3.2.1.c. Sous-Système Décisionnel

Le centre de décision regroupe le conseil de Pôle tandis que le centre de pilotage réunit le chef de service, les médecins et les soignants qui pilotent la structure au quotidien.

3.2.2. Spécification des règles de gestion

Comme pour les autres sous-domaines, nous avons sélectionné les règles 3, 4, 5, et 6 du modèle générique de connaissance du domaine (chapitre 6, section 2.2.1., p. 115) concernant l'intervention et la préemption des ressources.

Pour la priorisation des traitements, nous avons également sélectionné dans le modèle générique de connaissance du domaine les règles 7, 8 et 9 que nous rappelons dans le Tableau 10-1.

Règle n°7	Un traitement élémentaire *i* est caractérisé par un niveau de priorité (*[Traitement élémentaire].Niveau de priorité*) : - les traitements élémentaires facultatifs ou ceux n'ayant pas de réelles contraintes horaires ont une priorité faible ; - par défaut, tous les traitements dont le type est un acte de soins sur le patient ont une priorité moyenne ; - un traitement devant être réalisé prioritairement par rapport aux autres a une priorité élevée.
Règle n°8	A niveau de priorité égal (*[Traitement élémentaire].Niveau de priorité*), un traitement élémentaire *i* concernant un acte de soins à réaliser sur un patient (*[Traitement élémentaire].Type opération*) est prioritaire par rapport à tout autre traitement élémentaire.
Règle n°9	Si au même instant *t*, deux traitements élémentaires *i* et *j* qui ont une priorité élevée (*[Traitement élémentaire].Niveau de priorité*), et concernent une activité de soins à réaliser sur un patient (*[Traitement élémentaire].Type opération*), le traitement élémentaire prioritaire sera celui réalisé sur le patient qui a l'indice de lourdeur le plus élevé (*[Patient].Lourdeur*).

Tableau 10-1. Règles de gestion de priorisation des traitements issues du domaine pour le sous-domaine des unités de soins

3.2.3. Spécification du comportement des entités

Pour le comportement des entités, nous avons complété les travaux de (Chauvet, 2009). Nous donnons, pour exemple, la formalisation initiale d'un parcours patient, correspondant à la pathologie *« Appendice »*, sous forme de Chaîne de Processus Événementielle (CPE) réalisée avec

ARIS (Figure 10-5). Les fonctions des acteurs et activités aléatoires ont été formalisées sous la forme d'arbres de fonctions. A titre indicatif, il y a en moyenne une cinquantaine de CPE par unité de soins. Afin de compléter le modèle de connaissance, nous avons réalisé une structure de données reprenant, pour chaque parcours et arbre de fonctions, l'ensemble des traitements élémentaires le composant. A chacun de ces traitements, nous avons associé la liste des attributs de la classe *« Traitement élémentaire »* et avons complété avec les équipes médicales et soignantes les valeurs de ces attributs.

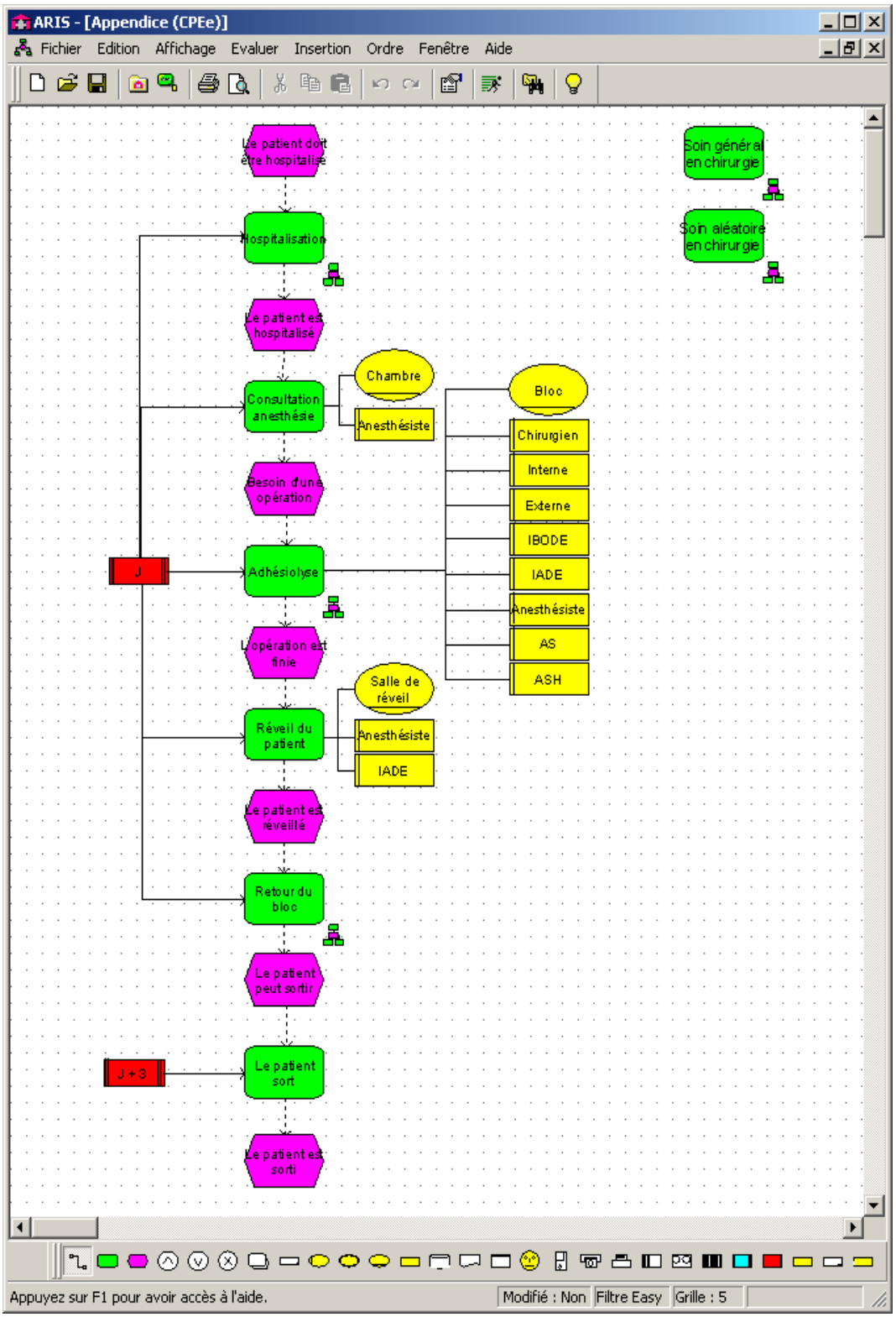


Figure 10-5. Formalisation ARIS des parcours patient

3.3. Règles de passage du modèle générique de connaissance à un modèle d'action basé sur la simulation à événements discrets

En modélisant l'ensemble des entités au niveau microscopique, nous pouvons concevoir des modèles (modèle de simulation, modèle analytique,…) avec différents niveaux de détail. En vue de tester les règles de gestion et d'obtenir des résultats détaillées sur les opérations élémentaires et l'ensemble des ressources, notre choix se porte sur un modèle de simulation à événements discrets.

Le Tableau 10-2 donne les règles de passage du modèle de connaissance conçu avec UML et LAESH au modèle d'action réalisé avec Witness.

Objet UML	ARIS / Structure de données	WITNESS
Patient	CPE	Attribut
Secteur	Attribut d'opération élémentaire	Module
Ressources matérielles	Ressources	Stock/Machine
Ressources humaines	Ressources	Opérateur
Traitement élémentaire	Opération élémentaire	Article

Tableau 10-2. Règles de passage du modèle de connaissance au modèle d'action Witness

3.4. Sélection des composants logiciels du domaine et conception d'une bibliothèque pour le sous-domaine

Nous avons donné en introduction de la partie 2, dans le chapitre 7, les composants logiciels du domaine sélectionnés et utilisés pour chaque sous-domaine.

Pour les composants logiciels Witness, nous en avons sélectionnés dans la base de composants logiciels (Tableau 10-3) du domaine et nous avons fait évoluer celui qui permettait de prendre en compte les combinaisons de ressources afin de tenir compte de la complexité des secteurs d'affectation. La spécification de ce composant logiciel est donné dans la première partie (chapitre 6, section B, p. 235). Nous avons également créé un nouveau composant permettant de prendre en compte de manière dynamique et totalement paramétrable, les déplacements des ressources humaines (W_{12}).

W_4	Traitements de différents processus sur des machines parallèles avec règles de préemption et de priorité variables (prise en charge des urgences).
W_{10}	Combinaison multiple d'équipes pour la réalisation d'un traitement avec prise en compte des secteurs d'affectation multiples et variables.
W_{11}	Utilisation prioritaire de ressources dédiées et combinaisons complexes de ressources actives (suivi personnalisé des patientes).
W_{12}	Prise en compte dynamique des distances et temps de déplacement.

Tableau 10-3. Composants logiciels Witness pour les unités de soins

Pour garder une bonne homogénéité entre les interfaces utilisateurs et de présentation des résultats des différents outils réalisés pour les hospitaliers, nous avons réutilisé de nombreux composants de notre bibliothèque (Tableau 10-4). Nous avons également créé de nouveaux composants afin de gérer la complexité de l'affectation des ressources aux secteurs ainsi que le

routage des ressources humaines en prenant en compte les distances et les temps de déplacement (E_9, E_{10})

E_1	Interface de pilotage de l'application avec orientation vers les différentes étapes de paramétrage et de visualisation des résultats (menu principal).
E_4	Affichage et génération des fichiers de type planning pour Witness (génération des plannings horaires des ressources).
E_5	Affichage et génération des fichiers d'article pour Witness avec prises en comptes de probabilités et lois de distribution (génération du fichier des patients)
E_6	Importation et mise en forme automatique des résultats en provenance de Witness (génération des tableaux de bord et graphiques de résultats) : – Affichage et mise en forme de la trace de la simulation (niveau de détail le plus fin du suivi de l'activité). – Conception automatisée de tableaux croisés dynamiques et actualisation des graphiques attenants. – Agrégation de données et génération de résultats moyens.
E_7	Générations d'une fiche de synthèse du scenario simulé exportables au format PDF et reprenant les objectifs du scenario et les principaux résultats obtenus.
E_8	Gestion des sauvegardes des paramétrages et des résultats de la simulation.
E_9	Génération des matrices d'affectation des ressources aux secteurs et aux zones
E_{10}	Interface matricielle de routage des ressources humaines.

Tableau 10-4. Composants logiciels Excel (Visual Basic) pour les unités de soins

3.5. Modèle de résultats pour le sous-domaine

Le modèle de résultats pour le sous-domaine contient les mêmes indicateurs que celui donné pour le domaine et présenté par le Tableau 6-9 (p. 131).

4. Les unités de soins du NHE

4.1. Présentation

Le Tableau 10-5, issu des travaux de (Chauvet, Kemmoe, and Aleksy, 2008) donne la répartition des 42 unités de soins du NHE avec le nombre approximatif de lits et le nombre de ressources humaines rattachées à chaque pôle :

- le pôle pédiatrie ;
- le pôle des Spécialités Médico-Chirurgicales (SMC) ;
- le pôle Digestif ;
- le pôle Gynécologie Obstétrique et Reproduction Humaine (GORH).

Pôle	Nombre d'Unités de Soins	Nombre de lits	Nombre de ressources humaines
Pôle Pédiatrie	14	187	274
Pôle SMC	11	121	161
Pôle Digestif	6	119	113
Pôle GOHR	11	106	86

Tableau 10-5. Répartition des unités de soins du NHE

Ces unités de soins, bien que spécifiques par leurs spécialités médicales, sont conceptuellement basées sur une architecture et un fonctionnement relativement identique.

Pour l'instanciation du modèle générique du sous-domaine, nous nous intéressons à une unité de soins de médecine digestive.

4.2. Modèle de connaissance d'une unité de soins du NHE

4.2.1. Décomposition systémique

4.2.1.a. Sous-Système Physique

Comme pour les autres travaux réalisés, nous avons choisi de prendre en compte uniquement l'activité directement liée au patient. Nous nous occupons donc principalement, pour les ressources matérielles des unités de soins, des chambres et des lits.

4.2.1.b. Sous-Système Logique

Pour l'unité de soins de la médecine digestive, 10 parcours principaux ont été sélectionnés dans le modèle de connaissance du sous-domaine.

4.2.1.c. Sous-système décisionnel

Le centre de décision des unités de soins regroupe le conseil de pole tandis que le centre de pilotage réunit les médecins et les soignants qui pilotent la structure au quotidien.

4.2.2. Règles de gestion et comportement des entités

Les règles de gestion et le comportement des entités du système sont celles du sous-domaine (3.2.2).

5. Conclusion

Afin de pouvoir tenir compte des spécificités de l'ensemble des unités de soins du NHE, un travail d'analyse et de formalisation de la connaissance a été réalisé avec les équipes soignantes. En prenant également en compte les spécificités des unités de soins actuelles de l'Hôtel-Dieu, nous avons pu concevoir un modèle générique de connaissance pour le sous-domaine des unités de soins qui soit instanciable sur tout système du sous-domaine.

Le modèle de simulation a été développé sans interface graphique élaborée (animation) afin de pouvoir prendre en compte n'importe quelle unité de soins. Il est totalement paramétrable via les interfaces utilisateurs : nombre, caractéristiques, planning et affectation des ressources, description des parcours patient et des traitements élémentaires, charge du système (parcours d'appartenance et localisation de chaque patient), matrice de distances entre les lieux pour prise en compte des temps de déplacement, choix entre les différentes règles de gestion, choix de la durée de la simulation. L'outil a été mis à la disposition de l'ensemble des unités de soins du NHE plus d'un an avant le déménagement des services vers le nouvel hôpital afin, entre autres, de leur permettre de tester différents scenarii organisationnels.

Afin de présenter de manière synthétique l'outil d'aide à la décision des unités de soins, nous avons choisi de publier en Annexe VI (p. 269) un extrait du rapport que nous avons réalisé à destination des équipes médicales et soignantes afin de les accompagner lors de la prise en main de l'outil (Rodier, 2009b).

Chapitre 11

Le sous-domaine des urgences et le sous-domaine du brancardage

Sommaire

1. Introduction

Comme nous l'avons vu en introduction générale de la deuxième partie, nous ne rentrons pas dans le détail pour les sous-domaines des urgences et des services de brancardage.

Ce choix s'explique pour les raisons suivantes :

- Hormis la problématique posée par la gestion des déplacements pour le brancardage, ces deux sous-domaines ne présentent pas de spécificités et de problématiques nouvelles par rapport aux autres sous-domaines étudiés. Pour s'en convaincre, il suffit de se référer à la Figure 2-3 de la première partie (chapitre 2, p 29) qui donne la typologie des systèmes étudiés.
- Les langages et méthodes utilisés pour la conception des modèles génériques de connaissance des sous-domaines comme pour la conception des modèles d'action, sont les mêmes que ceux qui ont été utilisés pour les autres sous-domaines.
- La conception des outils d'aide à la décision pour ces deux sous-domaines a largement fait appel aux nombreux composants logiciels que nous avons créés par ailleurs et qui ont été présentés dans la partie 1. Par exemple, les interfaces de l'outil pour les urgences pédiatriques ont été à plus de 80% créées à partir des composants logiciels du domaine.

Nous présentons dans ce chapitre l'application qui a été faite de la méthodologie ASCI-SH aux sous-domaines des urgences et du brancardage

2. Le Sous-Domaine des urgences

Un service d'urgences prend en charge des patients arrivant à l'hôpital pour des urgences plus ou moins graves. L'absence de programmation des patients constituent les principales particularités de ce sous-domaine.

Nous présentons brièvement dans une première sous-section l'application de ASCI-SH sur le sous-domaine des urgences puis donnons, dans la deuxième sous-section, un exemple d'instanciation sur le service des urgences pédiatriques du NHE. Ce travail a été réalisé avec un étudiant en dernière année d'école d'ingénieur que nous avons encadré et qui est présenté dans son mémoire de projet de fin d'études (Brunel, 2008).

2.1. Mise en œuvre de ASCI-SH sur le sous-domaine des urgences

Afin d'illustrer la mise en œuvre de notre cadre de modélisation sur le sous-domaine des urgences, nous donnons les méthodes et outils sélectionnés pour les différentes étapes et regroupés dans l'environnement logiciel présenté par la Figure 11-1. Cet environnement peut s'appliquer pour tout système du sous-domaine afin de concevoir un outil d'aide à la décision répondant aux objectifs fixés dans la première partie de cette thèse.

Nous remarquons que l'architecture fonctionnelle de cet environnement logiciel est strictement identique à celle de l'environnement du sous-domaine des blocs obstétricaux :

- L'**Analyse fonctionnelle et structurelle** du sous-domaine est réalisée en spécialisant les principales entités issues du diagramme de classe d'analyse du domaine.
- La **Spécification** se fait avec les langages UML et LAESH pour les parcours patient afin de prendre en compte notamment les combinaisons de ressources et les règles de gestion.

- Comme nous l'avons vu en introduction de ce chapitre, l'étape de **Conception** fait appel aux composants logiciels du domaine et à de nouveaux composants dédiés au sous-domaine et principalement développés pour les interfaces utilisateurs :
  - Planification de l'arrivée des patients paramétrable par jour et plage horaire ;
  - Répartition des patients par niveau de gravité.
- L'**Implémentation** est réalisée avec Excel pour les interfaces utilisateurs et Witness pour le modèle de simulation qui représente le noyau de l'environnement.

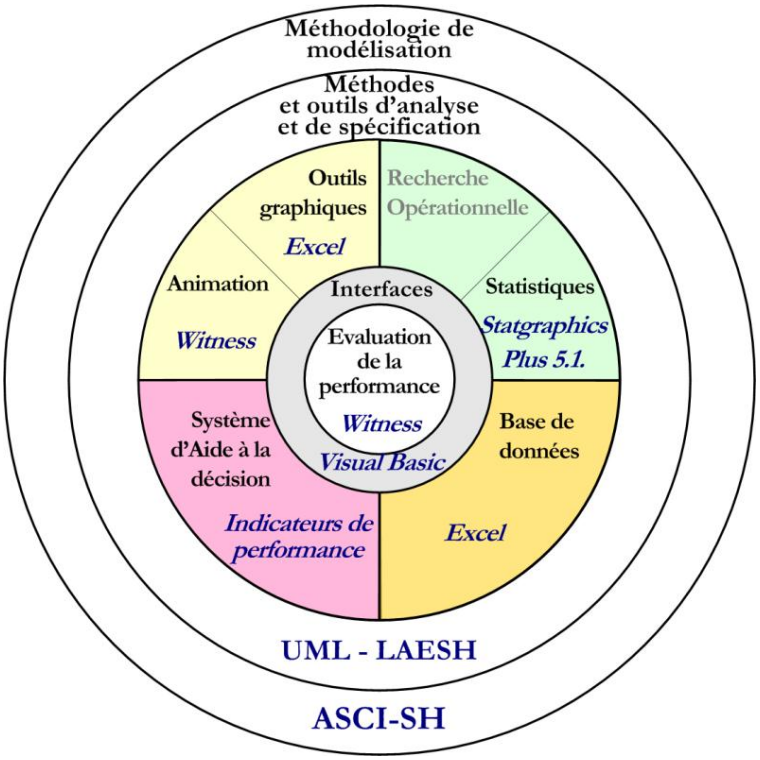


Figure 11-1. Environnement logiciel de l'outil pour le sous-domaine des urgences

L'environnement logiciel étant le même, les règles de passage du modèle de connaissance au modèle d'action sont identiques à celles données pour l'outil du bloc obstétrical (Tableau 8-6, p 156).

Comme nous l'avons annoncé, nous ne détaillons pas ces différentes étapes et donnons directement, dans la sous-section suivante, un exemple de l'instanciation de notre méthodologie sur le service des urgences pédiatriques du NHE.

2.2. Exemple d'instanciation de notre méthodologie ASCI-SH sur le service des urgences pédiatriques du NHE

2.2.1. L'analyse et la spécification du système

Le modèle générique de connaissance du sous-domaine des urgences à été instancié sur le service des urgences pédiatriques du NHE.

Pour la spécification des parcours patient, le nombre de pathologies traitées dans un service d'urgences étant très vaste, le choix a été fait d'un regroupement par principal type de traitement attendu :

- le parcours « suture » correspond aux interventions sur des plaies ouvertes, coupures, … ;

- le parcours « fracture » correspond aux interventions qui nécessitent la pose un plâtre, d'une résine ou d'une attelle ;
- le parcours « problèmes psychologiques » correspond essentiellement aux interventions de soutiens psychologiques (tentatives de suicide, ivresse …) ;
- le parcours « déchocage », correspond aux patients présentant des pathologies entrainant un risque vital imminent, comme les arrêts cardiaques, graves accidents de la route, …
- le parcours « général », pour toutes les autres pathologies, dites générales.

2.2.2. La conception et l'implémentation de l'outil

La conception de l'outil d'aide à la décision à bénéficier des bibliothèques de composants logiciels du domaine et du sous-domaine. L'outil a été testé, validé, puis mis à la disposition des équipes hospitalières. Il a par ailleurs été exploité par Julie Chauvet afin de valider le dimensionnement de la structure et à fait l'objet d'un rapport interne donné à la direction du CHU avec l'ensemble des résultats obtenus (Chauvet, 2008).

3. Le Sous-Domaine du brancardage

Le brancardage est une activité critique de l'hôpital : le transport des patients peut très facilement générer des dysfonctionnements dans le reste de la structure (exemple : un retard dans l'arrivée d'un patient au bloc opératoire aura des incidences sur l'ensemble de la programmation…). Ce transport s'effectue généralement par des aides-soignants brancardiers qui travaillent seuls ou en binômes et peuvent faire appel ou non à des ressources matérielles (exemple : lit, brancard, fauteuil roulant… ou aucune ressource matérielle lorsqu'il s'agit seulement d'un « accompagnement »). Enfin, l'activité de brancardage ne se résume pas seulement au transport : elle comprend également la manutention des patients, le nettoyage du matériel de transport, la saisie et la transmission de données… Toutefois, la principale spécificité de ce sous-domaine étant liée aux nombreux déplacements de patients et de ressources, nous nous focaliserons sur cette problématique et sa résolution.

Nous présentons brièvement dans une première sous-section l'application de ASCI-SH sur le sous-domaine du brancardage puis donnons, dans la deuxième section, un exemple d'instanciation sur le service de brancardage central du NHE. Ce travail a été réalisé avec un étudiant en dernière année d'école d'ingénieur que nous avons encadré et qui est présenté dans son mémoire de projet de fin d'études (Sattler, 2008).

3.1. Mise en œuvre de ASCI-SH sur le sous-domaine du brancardage

Comme pour la section précédente, nous donnons les méthodes et outils sélectionnés pour les différentes étapes et regroupés dans l'environnement logiciel présenté par la Figure 11-2.

Nous donnons rapidement les différentes étapes de notre cadre de modélisation appliquée au sous-domaine :

- L'**Analyse fonctionnelle et structurelle** du sous-domaine est réalisée en spécialisant les principales entités issues du diagramme de classe d'analyse du domaine.
- La **Spécification** se fait uniquement avec le langage UML à l'aide de diagrammes état-transition : le processus de brancardage, illustré par la Figure 11-3, ne présentant pas de complexité particulière et la composition d'équipes étant relativement simple.
- La **Conception** a nécessité le développement de nouveaux composants logiciels spécifiques au sous-domaine, dont les principaux sont :

- Affectation du matériel à la mission de brancardage ;
- Recherche du matériel entre différents lieux de stockage ;
- Déplacement du patient avec ressource(s) humaine(s) et matériel de brancardage ;
- Affichage des retards en fonction de l'heure de rendez-vous (interface utilisateur).

- L'**Implémentation** est réalisée avec Excel pour les interfaces utilisateurs, Witness pour le modèle de simulation et en langage C++ pour le module d'optimisation.

En effet, nous remarquons que l'architecture de cet environnement intègre un modèle de simulation et un modèle d'optimisation. Le nombre de chemins entre deux points pouvant être multiple, il est apparu nécessaire de coupler le modèle de simulation avec un modèle d'optimisation qui permette de calculer le chemin optimal à suivre. Ce modèle d'optimisation est basé sur l'algorithme de Djikstra, algorithme de plus court chemin souvent utilisé dans les systèmes GPS. Il est alimenté par une matrice des distances totalement paramétrable et tenant compte des plans de circulation (circulation interdite ou à sens unique entre deux points…).

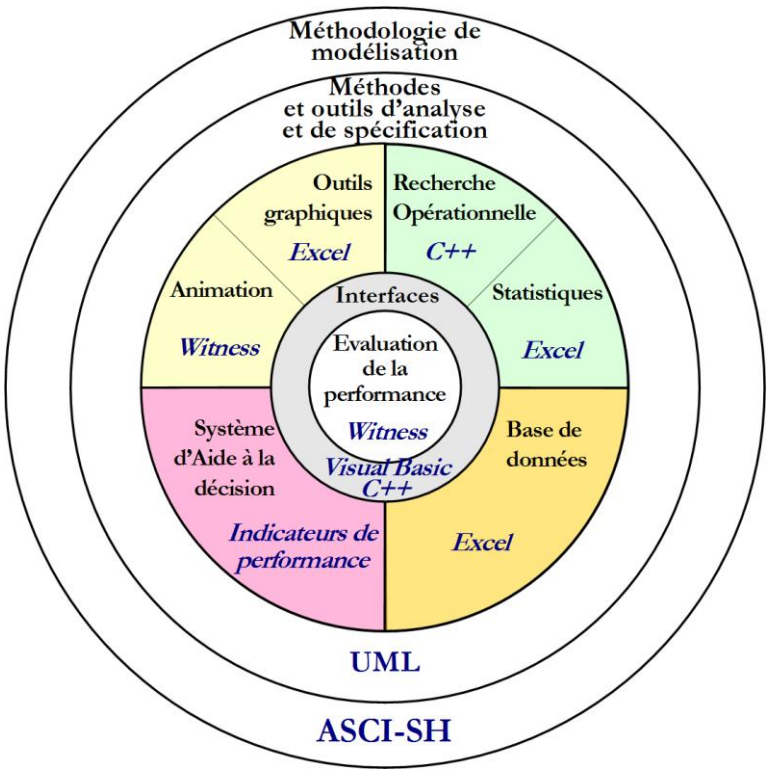


Figure 11-2. Environnement logiciel de l'outil pour le sous-domaine du brancardage

Nous donnons avec le Tableau 11-1 les règles de passage du modèle de connaissance au modèle d'action qui sont spécifiques au sous-domaine du brancardage. Les objets pris en compte dans le modèle de connaissance (brancards et fauteuils roulants) ont été traduits dans le modèle d'action avec des variables représentant la valeur des stocks (par exemple, lorsqu'un brancard est pris dans un stock pour répondre à une demande, la valeur de la variable représentant le nombre de brancards dans le stock est diminuée de 1). De plus, dans le modèle de simulation, les patients n'apparaissent qu'au travers des demandes de transport (activité), et les ressources humaines sont traduites sous la forme d'articles pour avoir une plus grande souplesse, notamment au niveau du routage.

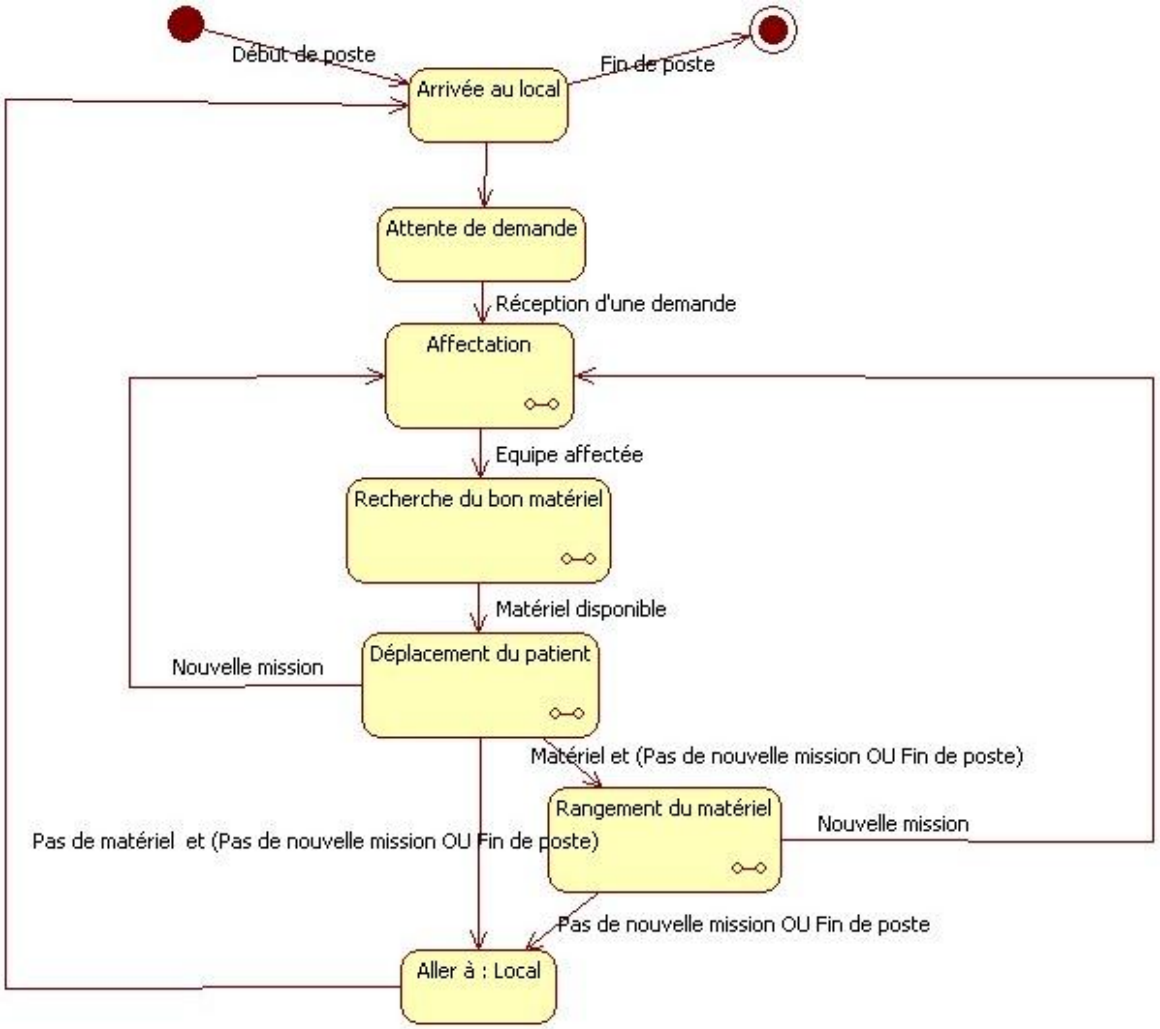


Figure 11-3. Diagramme état transition du processus de brancardage (vue générale)

Objet UML	WITNESS
Activité	Article
Ressources matérielles	Stock/Machine (lieu) Variable (objet)
Ressources humaines	Article
Traitement élémentaire	Cycle de production Stock/Machine

Tableau 11-1. Règles de passage du modèle de connaissance UML au modèle d'action Witness

Nous avons présenté la mise en œuvre de notre cadre de modélisation sur le sous-domaine du brancardage. Nous donnons, dans la sous-section suivante, un exemple d'instanciation sur le service du brancardage central du NHE.

3.2. Exemple d'instanciation de notre méthodologie ASCI-SH sur le service du brancardage central du NHE

3.2.1. L'analyse et la spécification du système

Le modèle générique de connaissance du sous-domaine du brancardage à été instancié sur le service du brancardage central du NHE. Un travail de recueil d'informations a été fait afin de pouvoir réaliser le plan de circulation du NHE en tenant compte de l'ensemble des contraintes (sens de circulation, localisation des ascenseurs et des escaliers…) et de recueillir les données permettant de paramétrer la matrice des distances. Cette matrice a répertorié les distances entre les 250 nœuds (unités de soins, intersections, ascenseurs…) créés pour permettre le routage des brancardiers à travers le système.

3.2.2. La conception et l'implémentation de l'outil

La conception de l'outil d'aide à la décision à bénéficier des bibliothèques de composants logiciels du domaine et du sous-domaine mais également et surtout de la bibliothèque spécifique au sous-domaine et permettant de répondre à la problématique liée aux déplacements.

L'outil a été testé, validé, puis mis à la disposition de la Cadre Supérieure en charge du service de brancardage centrale du NHE.

4. Conclusion

Après avoir présenté le cadre de modélisation ASCI-SH pour le domaine des systèmes hospitaliers dans une première partie, puis son utilisation pour les différents sous-domaines que nous avons étudiés, nous avons très brièvement présenté dans ce dernier chapitre la mise en œuvre d'ASCI-SH réalisée par deux étudiants sur les sous-domaines des urgences et du brancardage et son instanciation sur le service des urgences pédiatriques et le service de brancardage central du NHE. A travers ces deux études, nous avons constaté que le cadre de modélisation ASCI-SH permet d'étudier un sous-domaine quelconque et que de telles études étaient facilement et rapidement menées par des personnes non-spécialistes.

Conclusion de la Deuxième Partie

Pour situer notre contribution, nous reprenons la notation proposée dans notre état de l'art en donnant pour chaque modèle et outil conçus et développés pour les sous-domaines étudiés la valeur de **[α,β,γ,δ / {τ}]** avec :

- α : niveau de modélisation des ressources matérielles ;
- β : niveau de modélisation des ressources humaines ;
- γ : niveau de modélisation du patient ;
- δ : niveau de modélisation de l'activité ;
- τ qui représente l'horizon ou les horizons temporels concernés.

Les niveaux de modélisation sont représentés par Ma pour macroscopique, Me pour mesoscopique ou Mi pour microscopique. Les abréviations S, T et O sont respectivement utilisées pour les horizons Stratégique, Tactique et Opérationnel.

Sous domaine des blocs obstétricaux	[Mi, Mi, Me, Mi / S-T-O]
Sous domaine des blocs opératoires	[Mi, Me, Me, Mi / S-T-O]
Sous domaine des unités de soins	[Mi, Mi, Me, Mi / S-T-O]
Sous domaine des urgences	[Mi, Mi, Me, Mi / S-T-O]
Sous domaine du brancardage	[Me, Mi, Me, Mi / S-T-O]

Comme nous l'avons vu dans nos travaux, nous avons privilégié une modélisation microscopique de l'activité et des ressources afin de tenir compte des spécificités de chaque sous-domaine et de pouvoir couvrir l'ensemble des problématiques identifiées dans notre matrice 3x3. Nous avons modélisé les parcours patient au niveau mesoscopique, niveau qui est apparu suffisant au vu de nos objectifs.

Pour le sous-domaine des blocs opératoires, nous nous sommes intéressés à la notion d'équipe et avons donc modélisé cette entité au niveau mesoscopique.

Pour le sous-domaine du brancardage les ressources matérielles ont été modélisées au niveau mesoscopique, une zone de départ ou d'arrivée du brancardier représentant par exemple un ensemble de chambres.

Parmi les trois sous-domaines étudiés dans les chapitres 8 à 10 et pour lesquels nous présentons des outils dans les Annexes IV à VI, il convient de distinguer :

- L'outil réalisé pour le bloc obstétrical que l'on peut considérer comme dédié au bloc obstétrical du NHE puisqu'il a été réalisé en tenant compte du plan du bloc afin de permettre une animation de la simulation. Cet outil ayant été le premier, dans le cadre du projet de modélisation du NHE, à être réalisé avec les équipes hospitalières et mis à leur disposition dans les services, l'animation de la simulation s'est avérée particulièrement importante pour valider et faire adhérer les hospitaliers à notre approche. S'il doit être réutilisé sur un autre système, seul le sous-système physique est à modifier. Nous estimons le temps de conception de ce nouveau modèle, à partir des composants logiciels déjà conçus, à une semaine.
- Les outils réalisés pour le bloc opératoire et les unités de soins qui sont génériques et totalement paramétrables. Nous introduisons donc la notion de modèle d'action générique au niveau du sous-domaine.

En ce qui concerne les modèles de simulation dont la mise en œuvre et les résultats sont présentés dans les annexes, la période d'étude est en général d'une semaine et les temps d'exécution de l'ordre de deux à cinq minutes sur des machines à 2 GHz.

Conclusion Générale

L'objectif général de nos travaux de thèse était d'unifier et de résoudre des problèmes de modélisation et d'optimisation dans les systèmes hospitaliers et d'appliquer nos propositions au Nouvel Hôpital Estaing. L'origine de ces travaux réside dans le constat suivant : les études de modélisation des systèmes hospitaliers font apparaître des problèmes nouveaux et difficiles qui ne peuvent pas être résolus, en général, par une transposition ou une adaptation simple des méthodes et outils conçus pour d'autres types de systèmes tels que les systèmes industriels de production.

Pour atteindre cet objectif général, nous avons répondu à l'ensemble des problématiques identifiées en proposant :

- Une typologie des systèmes hospitaliers basée sur huit critères en focalisant sur les systèmes suivants :
  - le plateau médico-technique (PMT) ;
  - le service des urgences ;
  - les unités de soins ;
  - le brancardage.
- Un recensement des caractéristiques liées au patient et à l'activité et des caractéristiques liées aux ressources humaines et matérielles qui créent la complexité systémique, telle que par exemple la prise en charge de l'activité liée au patient par les ressources humaines qui induit le problème de la composition des équipes.
- Une formalisation du problème de la composition des équipes pour la réalisation d'un traitement élémentaire sur un patient.
- Une solution aux problèmes de dimensionnement (ressources humaines et ressources matérielles), de planification et d'ordonnancement des opérations dans le bloc opératoire.
- Un langage d'analyse et d'étude des systèmes hospitaliers (LAESH) qui permet de communiquer avec les équipes hospitalières et de prendre en compte les spécificités des systèmes au niveau de détail le plus fin (parcours non linéaires, conception des équipes de ressources humaines, règles de gestion …).
- Une méthodologie de modélisation ASCI-SH dans laquelle s'intègre naturellement le langage LAESH et qui permet l'enchaînement des étapes de la formalisation de la connaissance à la conception d'outils d'aide à la décision.

Ces propositions ont permis la conception et l'implémentation d'outils d'aide à la décision qui ont été installés et mis en œuvre avec succès dans les services du NHE.

Nous avons pu tester le caractère générique de certains de ces outils, en particulier pour les unités de soins où l'outil conçu a pu être rapidement mis en œuvre sur plusieurs services du Nouvel Hôpital Estaing.

De la même manière, l'outil conçu pour le sous domaine des blocs opératoires est générique et peut être instancié et mis en œuvre sur tout système du sous-domaine.

Nos travaux ont été réalisés en suivant un fil conducteur que nous avons appelé la matrice 3x3 et qui fait apparaître les trois horizons temporels classiques (stratégique, tactique et opérationnel) et les trois degrés de finesse de modélisation (microscopique, mesoscopique, macroscopique).

En ce qui concerne la méthodologie ASCI-SH, un de ses points forts est la démarche hiérarchique qui est utilisée pour :

- recueillir et formaliser la connaissance d'un domaine pour aboutir à un modèle générique de connaissance de ce domaine ;
- instancier et enrichir ce modèle sur chaque sous-domaine ;
- obtenir pour un système d'un sous-domaine des modèles d'action.

La mise en œuvre de cette méthodologie a permis :

- une appropriation rapide des méthodes et outils par les intervenants du projet de modélisation du NHE ;
- une appropriation, elle aussi rapide, des modèles de connaissance et des outils d'aide à la décision pour les équipes hospitalières.

L'ensemble de nos travaux a été réalisé en étroite collaboration avec les équipes médicales et paramédicales. Chaque modèle et outil mis en œuvre dans les services du NHE ont été validés par les équipes hospitalières puis mis à leur disposition sur le serveur de l'hôpital, accompagnés de documentations explicatives.

Ce travail a permis un accompagnement au changement pour les équipes du NHE qui ont revu l'ensemble de leurs processus avant de pouvoir tester et comparer leurs futures règles d'organisation.

Les perspectives que nous envisageons sont les suivantes :

- prendre en compte l'aspect contrôle de gestion dans nos modèles en complétant les diagrammes de classes et les modèles de résultats ;
- étudier le problème de la modélisation d'un hôpital en concevant un modèle global faisant appel (ou communiquant) avec les modèles détaillés des services ;
- réaliser d'autres instanciations de notre méthodologie pour d'autres sous-domaines ;
- concevoir des outils d'aide à la décision permettant de minimiser les conséquences des événements aléatoires et s'intéresser, en particulier, à la réparation de planning ;
- utiliser d'autres approches, telle que l'approche multi-agent, notre méthodologie étant conçu pour prendre en compte différentes méthodes et outils ;
- étudier d'autres systèmes pour lesquels la composition des équipes peut être un problème difficile tels que les systèmes de maintenance et de réparation.

Il est d'ores et déjà acquis que certaines de ces perspectives feront l'objet de deux thèses à la rentrée 2010.

Bibliographie

ABOUÏSSA, H., NICOLAS, J. C., BENASSER, A., and CHERKOUK, N. (2003). Systèmes Multiagent et réseaux de Petri pour la modélisation et l'Evaluation des Performance des Systèmes hospitaliers. Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH). Lyon, France, 17 et 18 janvier 2003.

AGUILAR-SAVÉN, R. S. (2004). Business process modelling: Review and framework. *International Journal of Production Economics* 90: 129-149.

AKCALI, E., CÔTÉ, M. J., and LIN, C. (2006). A network flow approach to optimizing hospital bed capacity decisions. *Health Care Management Science* 9: 391-404.

ALBERT, F. (2007). Intérêt du regroupement des plateaux médico-techniques. Réalisation d'un outil de prototypage de plateau technique. Thèse de doctorat, Université Jean Monnet, Saint-Etienne, France.

ALEKSY, B., and RODIER, S. (2006). L'accompagnement au changement. CHU de Clermont-Ferrand, HAS - 14 décembre 2006.

_____. (2007). Le projet d'organisation et de modélisation du N.H.E. CHU de Clermont-Ferrand, Visite de Mme Podeur, Directrice de l'hospitalisation et de l'organisation des soins (DHOS), Ministère de la santé et des solidarités - 31 août 2007.

ALEKSY, B., CHAUVET, J., GOURGAND, M., PONTIÈS, O., and RODIER, S. (2008). Une démarche de modélisation pour les systèmes hospitaliers : Application au Nouvel Hôpital Estaing. Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH): 363-370. Lausanne, Suisse, 4-6 septembre 2008.

ALTINEL, I. K., and ULAS, E. (1996). Simulation modeling for emergency bed requirement planning. *Annals of Operations Research* 67: 183-210.

ANAYA, V., BERIO, G., HARZALLAH, M., HEYMANS, P., MATULEVIČIUS, R., OPDAHL, A. L., PANETTO, H., and VERDECHO, M. J. (2010). The Unified Enterprise Modelling Language – Overview and Further Work. *Computers in Industry* 61: *article accepté pour publication*.

ARTIBA, A., and DI MARTINELLY, C. (2003). Allocation des patients : problématique et approche de résolution par la simulation. Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH). Lyon, France, 17-18 janvier 2003.

ASHBY, M., FERRIN, D., MILLER, M., and SHAHI, N. (2008). Discrete event simulation: optimizing patient flow and redesign in a replacement facility. Winter Simulation Conference: 1362-1366. Miami, USA.

AUGUSTO, V. (2008). Modélisation, analyse et pilotage de flux en milieu hospitalier à l'aide d'UML et des réseaux de Petri, École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne, France.

BAGUST, A., PLACE, M., and POSNETT, J. W. (1999). Dynamics of bed use in accommodating emergency admissions: stochastic simulation mode. *British Medical Journal* 319: 155-158.

BALLARD, S. M., and KUHL, M. E. (2006). The use of simulation to determine maximum capacity in the surgical suite operating room. Winter Simulation Conference: 433-438. Monterey, USA.

BALLOU, R. H. (1992). Business Logistics Management. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.

BARD, J. F., and PURNOMO, H. W. (2005). Preference scheduling for nurses using column generation. *European Journal of Operational Research* 164: 510-534.

BAUBEAU, D., and PEREIRA, C. (2004). Mesure de la performance dans le domaine de la santé. 10ème Colloque de Comptabilité Nationale. Paris, France, 22 janvier 2004.

BAUCHET, P. (2008). Observations sur le système français d'hospitalisation. *Comptes Rendus Biologies* 331: 930–932.

BELIËN, J., and DEMEULEMEESTER, E. (2005). Building cyclic master surgery schedules with leveled resulting bed occupancy. *European Journal of Operational Research* 176: 1185-1204.

_____. (2008). A branch-and-price approach for integrating nurse and surgery scheduling. *European Journal of Operational Research* 189: 652–668.

BERIO, G., and VERNADAT, F. (1999). New developments in enterprise modelling using CIMOSA. *Computers in Industry* 40: 99–114.

BERNUS, P., and NEMES, L. (1996). A framework to define a generic enterprise reference architecture and methodology. *Computer Integrated Manufacturing Systems* 9: 179-191.

BESOMBES, B., MARCON, E., ALBERT, F., MERCHIER, L., and BERNAUD, M. (2006). Quels Indicateurs de performance pour piloter le Regroupement de Plateau Médico-Technique PMT ? Retour d'expérience au CHU de St Etienne. Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH). Luxembourg, 14-16 septembre 2006.

BONVOISIN, F., BURTON, E., HENSOTTE, J.-C., GODICHAL, M., GUISSET, A.-L., HUT, F., and LEDUC, D., WITTMANN VALÉRIE. (2007). Recommandation d'indicateurs pour la gestion de quartier opératoire: Le projet path de l'OMS. *Gestions Hospitalières* 465: 255-260.

BOOCH, G. (1990). Object oriented design with applications. Benjamin-Cummings Publishing Co., Inc.

BOOCH, G., RUMBAUGH, J., and JACOBSON, I. (1998). Unified Modeling Language User Guide. Editions Addison-Wesley.

BOUSSIER, J.-M. (2007). Modélisation de comportements dans les systèmes dynamiques : Application à l'organisation et à la régulation de stationnement et de déplacement dans les Systèmes de Trafic Urbain. Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, France.

BRAISLFORD, S. C. (2007). Tutorial: Advances and challenges in healthcare simulation modeling. Winter Simulation Conference: 1436-1448. Washington, USA.

BRETTHAUER, K. M., and CÔTÉ, M. J. (1998). A Model for Planning Resource Requirements in Health Care Organizations. *Decision Sciences Journal* 29: 243-270.

BRIGL, B., AMMENWERTH, E., DUJAT, C., GRÄBER, S., GROßE, A., HÄBER, A., JOSTES, C., and WINTER, A. (2005). Preparing strategic information management plans for hospitals: a practical guideline: SIM plans for hospitals: a guideline. *International Journal of Medical Informatics* 74: 51-65

BRUNEL, P. (2008). Simulation à évènements discrets des urgences pédiatriques et des blocs opératoires du Nouvel Hôpital d'Estaing. Rapport de Projet de Fin d'Etudes, Institut Français de Mécanique Avancée.

BRUNELLE, Y., and SAUCIER, A. (1999). Les indicateurs et le système de soins. Collection Méthodologie et Instrumentation, Ministère de la Santé et des Services sociaux, Québec.

BURKE, E. K., CURTOIS, T., POST, G., QU, R., and VELTMAN, B. (2008). A hybrid heuristic ordering and variable neighbourhood search for the nurse rostering problem. *European Journal of Operational Research* 188: 330–341.

CANON, C., BILLAUT, J.-C., and BOUQUARD, J.-L. (2004). Méthodologie de planification du personnel multicompétent. Gestion et Ingénierie des SystèmEs Hospitaliers (GISEH). Mons, Belgique, 9-11 septembre 2004.

CARDOEN, B., DEMEULEMEESTER, E., and BELIËN, J. (2010). Operating room planning and scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research* 201: 921-932.

CASSAGNE, R. (2009). Un outil d'aide a la décision pour le dimensionnement et la planification des blocs opératoire. Rapport de stage d'ingénieur, CNAM, Clermont-Ferrand.

CASSAGNE, R., GOURGAND, M., and RODIER, S. (2008). Un outil d'aide au dimensionnement, à la planification et à la visualisation d'un programme opératoire. Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH): 807-814. Lausanne, Suisse, 4-6 septembre 2008.

_____. (2010). Un outil d'aide au dimensionnement, à la planification et à la visualisation d'un programme opératoire. *Logistique et Management* (à paraître en 2010).

CENTENO, M. A., GIACHETTI, R., LINN, R., and ISMAIL, A. M. (2003). A simulation-ILP based tool for scheduling ER staff. Winter Simulation Conference: 1930-1938. New Orleans, USA, 7-10 December 2003.

CÉRUTTI, O., and GATTINO, B. (1992). Indicateurs et Tableaux de Bord. Afnor Gestion.

CHAABANE, S., MESKENS, N., GUINET, A., and LAURENT, M. (2008). Comparison of two methods of operating theatre planning: application in belgian hospital. *Journal of Systems Science and Systems Engineering* 17: 171-186.

CHABROL, M. (1986). Développement et utilisation de QNAP2 pour l'évaluation des performances par modèles analytiques. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.

CHABROL, M., and GOURGAND, M. (1991). Software environment for queueing network modeling. RRES 91. Milan, Italie.

CHABROL, M., and SARRAMIA, D. (2001). Modélisation orientée objets et multi-agents du système d'information des systèmes de trafic urbain. *Ingénierie des Systèmes d'Information* 6: 121-150.

CHABROL, M., CHAUVET, J., and FÉNIÈS, P. (2006). Un usage multiple du modèle de connaissance unique des processus organisationnels d'une Supply Chain Hospitalière : Application pour le Nouvel Hôpital d'Estaing. Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH). Luxembourg, 14-16 septembre 2006.

CHABROL, M., GOURGAND, M., and RODIER, S. (2007a). Une méthodologie de modélisation pour le système d'information de la supply chain hospitalière : application sur la SCH du Nouvel Hôpital d'Estaing (NHE). Séminaire Tuniso-Français : "Optimisation des coûts et de la qualité du service dans les systèmes de santé", Tunis, Tunisie.

_____. (2007b). Obstetrical theatre suite modelling and simulation. International Conference on Operational Research Applied to Health Services (ORAHS): 227-238. Saint-Etienne, France, 15-20 juillet 2007.

_____. (2007c). LAESH: un langage d'analyse et d'évaluation des systèmes hospitaliers. Application à la modélisation des ressources humaines. Journées STP – GDR MACS, Aix-en-Provence, France.

_____. (2008a). Le projet NHE : modélisation, simulation, optimisation et pilotage des flux. De l'analyse du système à la conception d'outils d'aide à la décision Workshop Pilotage des Hôpitaux par la Performance (PHP) - Séance Pleinière, Mons, Belgique.

_____. (2008b). A modeling methodology and its application to the design of decision-making aid tools for the hospital systems. IEEE International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS): 161-172. Marrakech, Maroc, 3-6 juin 2008.

_____. (2008c). Modèle de connaissance générique et outils d'aide à la décision pour les blocs obstétricaux. Modélisation et Simulation (MOSIM): 1496-1505. Paris, France, 31 mars – 2 avril 2008.

_____. (2008d). LAESH : Langage d'Analyse et d'Evaluation des Systèmes Hospitaliers. *Rapport Technique R01-2008*. LIMOS CNRS UMR 6158, CHU de Clermont-Ferrand.

_____. (2009). Methodological approach and software tools for the hospital systems. *Studies in Computational Intelligence (SCI)* 189: 93-111. http://www.springer.com/engineering/book/978-3-642-00178-9?detailsPage=toc.

CHABROL, M., CHAUVET, J., FÉNIÈS, P., and GOURGAND, M. (2006a). A methodology for process evaluation and activity based costing in health care supply chain. *Business Process Management Workshops (BPM)* 3812: 375-384. http://www.springerlink.com/content/041r734h5u5740p4/.

CHABROL, M., FÉNIÈS, P., GOURGAND, M., and TCHERNEV, N. (2006b). Un environnement de modélisation pour la Supply Chain Hospitalière : application sur le Nouvel Hôpital d'Estaing. *Ingénierie des Systèmes d'Information* 11: 137-162.

CHABROL, M., GALLOT, D., PONTIÈS, O., and RODIER, S. (2007). D'un modèle de connaissance générique du bloc obstétrical à la conception d'outils d'aide à la décision. Journées Doctorales / Journées Nationales du Groupe de Recherche MACS. Reims, France, 9-11 juillet 2007.

CHABROL, M., GALLOT, D., GOURGAND, M., and RODIER, S. (2008). LAESH : Langage d'Analyse et d'Evaluation des Systèmes Hospitaliers. Application à la simulation du bloc obstétrique du NHE. Journée Groupes de Recherche GISEH - STIC Santé, Clermont-Ferrand, France.

CHABROL, M., CHAUVET, J., GOURGAND, M., and RODIER, S. (2009). Une méthodologie de modélisation pour les systèmes hospitaliers : Application au Nouvel Hôpital Estaing. *Logistique et Management* (accepté pour parution en 2009).

CHAMPAGNE, F., and GUISSET, A.-L. (2005). The Assessment of Hospital Performance: Collected Background Papers. GRIS, Montréal.

CHARNETSKI, J. (1984). Scheduling operating room surgical procedure with early and late completion penalty costs. *Journal of Operations Management* 5: 91-102.

CHAUVET, J. (2008). Analyse des résultats de la simulation des Urgences Pédiatriques. *Rapport interne*. CHU de Clermont-Ferrand, Juillet 2008.

_____. (2009). Une méthodologie de modélisation pour les systèmes hospitaliers : application sur le Nouvel Hôpital d'Estaing. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.

CHAUVET, J., and GOURGAND, M. (2008). Modélisation et analyse du service des urgences : état de l'art. Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH): 363-370. Lausanne, Suisse, 4-6 septembre 2008.

CHAUVET, J., KEMMOE, S., and ALEKSY, B. (2008). Proposition d'un modèle de connaissance générique des unités de soins. Modélisation et Simulation (MOSIM): 1513-1522. Paris, France, 31 mars – 2 avril 2008.

CHEN, D., VALLESPIR, B., and DOUMEINGTS, G. (2002). Developing an unified enterprise modelling language (UEML) - Roadmap and requirements, Collaborative Business Ecosystems and Virtual Enterprises. IFIP Working conference on infrastructures for virtual enterprise. Sesimbra, Portugal, 1-3 mai 2002.

CHERN, C.-C., CHIEN, P.-S., and CHEN, S.-Y. (2008). A heuristic algorithm for the hospital health examination scheduling problem. *European Journal of Operational Research* 186: 1137–1157.

CIMOSA. (1993). Open Systems Architecture for CIM. *ESPRIT Consortium AMICE* Springer-Verlag.

CLAVER, J. F., GELINER, J., and PITT, D. (1997). Gestion de flux en entreprises, modélisation et simulation. Hermes Science.

COCHRAN, J. K., and BHARTI, A. (2006a). Stochastic bed balancing of an obstetrics hospital. *Health Care Management Science* 9: 31-45.

_____. (2006b). A multi-stage stochastic methodology for whole hospital bed planning under peak loading. *International Journal Industrial and Systems Engineering* 1: 8-36.

COLLETTE, Y., and SIARRY, P. (2002). Optimisation multiobjectif. Eyrolles, Paris, 2002.

COMBES, C. (1994). Un environnement de modélisation pour les systèmes hospitaliers. Thèse de doctorat, Université de Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.

COMBES, C., MESKENS, N., and DUSSAUCHOY, A. (2006). Aide au dimensionnement des ressources matérielles d'un service d'endoscopie par l'analyse des données et la simulation. Modélisation et Simulation (MOSIM). Rabat, Maroc, 3-5 avril 2006.

D.H.O.S. (2006). L'hospitalisation et l'organisation des soins en France. *Enjeux et perspectives - Edition 2006*. Direction de l'hospitalisation et de l'organisation des soins - Ministère de la Santé et des Solidarités, France.

DALLERY, Y. (2004). Les méthodes de la logistique industrielle au service de la santé : apports et limitations. Journée de l'Ingénierie de la Santé. Ecole Centrale, Paris, France, 26 mai 2004.

DENTON, B., VIAPIANO, J., and VOGL, A. (2007). Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty. *Health Care Management Science* 10: 13-24.

DEXTER, F., MACARIO, A., TRAUB, R. D., HOPWOOD, M., and LUBARSKY, D. A. (1999). An operating room scheduling strategy to maximize the use of operating room block time: computer simulation of patient scheduling and survey of patients' preferences for surgical waiting time. *Anesthesia and analgesia* 89: 7-20.

DHOS. (2007). Présentation de la réforme de la gouvernance hospitalière. Direction de l'hospitalisation et de l'organisation des soins - Janvier 2007.

DI MARTINELLY, C. (2008). Proposition of a framework to reengineer and evaluate the hospital supply chain. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon

(France) and Louvain School of Management / Facultés Universitaires Catholiques de Mons (Belgique), Mons, Belgique.

DIONOSI, D. (1993). L'essentiel sur MERISE. Edition Eyrolles.

DOHENY, J. G., and FRASER, J. L. (1996). MOBEDIC – A decision modelling tool for emergency situation. *Expert system with applications* 10: 17-27.

DONADEBIAN, A. (1980). The definition of quality and approaches to its assessment. *Health Administration Press (HAP)*.

DOUMEINGTS, G. (1984). La méthode GRAI. Thèse d'État, Université de Bordeaux I, France.

DOUMEINGTS, G., VALLESPIR, B., ZANETTIN, M., and CHEN, D. (1992). GRAI Integrated Methodology: A Methodology for Designing CIM Systems, version 1.0. GRAI/LAP, Université de Bordeaux I, 1992.

DRÉO, J., PÉTROWSKI, A., SIARRY, P., and TAILLARD, E. (2003). Métaheuristique pour l'optimisation difficile. Éditions Eyrolles, Paris, Septembre 2003.

EL-DARZI, E., VASILAKIS, C., CHAUSSALET, T., and MILLARD, P. (1998). A simulation modeling approach to evaluating length of stay, occupancy, emptiness and bed blocking in a hospital geriatric department. *Health Care Management Science* 1: 143-149.

EL HAOUZI, H. (2008). Approche méthodologique pour l'intégration des systèmes contrôlés par le produit dans un environnement de juste-à-temps : Application à l'entreprise TRANE. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy.

FEI, H., DUVIVIER, D., MESKENS, N., and CHU, C. (2006). Ordonnancement journalier dans un bloc opératoire dans le cadre d'une stratégie « open scheduling ». Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH). Luxembourg, 14-16 septembre 2006.

FEI, H., CHU, C., MESKENS, N., and ARTIBA, A. (2008). Solving surgical cases assignment problem by a branch-and-price approach. *International Journal of Production Economics* 112: 96-108.

FÉNIÈS, P. (2006). Une méthodologie de modélisation par processus multiples et incrémentiels : application pour l'évaluation des performances de la Supply Chain. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.

FÉNIÈS, P., and RODIER, S. (2006). Un modèle décisionnel générique pour l'évaluation de la performance du processus logistique en contexte hospitalière. Conférence Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH). Luxembourg, 14-16 septembre 2006.

FÉNIÈS, P., GOURGAND, M., and TCHERNEV, N. (2004). Une contribution à la mesure de la performance dans la supply chain hospitalière : L'exemple du processus opératoire. Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH). Mons, Belgique, 9-11 septembre 2004.

FÉNIÈS, P., GOURGAND, M., and RODIER, S. (2006a). A decisional model for the performance evaluation of the logistic process : application to the hospital supply chain. IEEE International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM): 436-442. Troyes, France, 25-27 octobre 2006.

_____. (2006b). Interoperable and Multi-flow Software Environment: Application to Health Care Supply Chain. *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)* 4103: 311– 322. http://www.springerlink.com/content/x208185717k39412/.

FIESCHI, M. (2003). Les données du patient partagées : la culture du partage et de la qualité des informations pour améliorer la qualité des soins. *Rapport au ministre de la santé de la famille et des personnes handicapées*. Janvier 2003.

FITZPATRICK, K. E., BAKER, J. R., and DAVE, D. S. (1993). An application of computer simulation to improve scheduling of hospital operating room facilities in the United States. *International Journal of Computer Applications in Technology* 6: 215-224.

FONE, D., HOLLINGHURST, S., TEMPLE, M., ROUND, A., LESTER, N., WEIGHTMAN, A., ROBERTS, K., COYLE, E., BEVAN, G., and PALMER, S. (2003). Systematic review of the use and value of computer simulation modelling in population health and health care delivery. *Journal of Public Health Medicine* 25: 325–335.

FOWLER, J. W., WIROJANAGUD, P., and GEL, E. S. (2008). Heuristics for workforce planning with worker differences. *European Journal of Operational Research* 190: 724-740.

GALASSO, F., MERCE, C., and GRABOT, B. (2008). Decision support for supply chain planning under uncertainty. *International Journal of Systems Science* 39: 667-675

GALLAND, S., GRIMAUD, F., BEAUNE, P., and CAMPAGNE, J. P. (2003). M_AMA-S: An introduction to a methodological approach for the simulation of distributed industrial systems. *International Journal of Production Economics (IJPE)* 85: 11–31.

GALLOT, D., DELPIROU, F., FARGE, M., and RODIER, S. (2008). Analyse des résultats de la simulation du Bloc Obstétrique du NHE. *Rapport interne*. LIMOS CNRS UMR 6158 - CHU de Clermont-Ferrand, Novembre 2008.

GIBSON, I. W. (2007). An approach to hospital planning and design using discrete event simulation. Winter Simulation Conference: 1501-1509. Washington, USA.

GORUNESCU, F., MCCLEAN, S., and MILLARD, P. (2002). A queueing model for bed-occupancy management and planning of hospitals. *Journal of the Operational Research Society* 53: 19-24.

GOUJON, J.-Y. (1997). Un environnement de modélisation multi-agents pour la spécification et l'évaluation des performances des systèmes industriels de production Thèse de doctorat, Université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand, France.

GOURGAND, J.-M., and RODIER, S. (2007). Tests statistiques : recherche de lois de probabilité. *Rapport technique intermédiaire*. Université Blaise Pascal, LIMOS CNRS UMR 6158 - CHU de Clermont-Ferrand, Avril 2007.

GOURGAND, M. (1984). Outils logiciels pour l'évaluation des performances des systèmes informatiques. Thèse d'État, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.

_____. (2008). La modélisation, la simulation et l'optimisation des flux dans les systèmes hospitaliers. *Bulletin de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision* 21: 8-12.

GOURGAND, M., and KELLERT, P. (1991). Conception d'un environnement de modélisation des systèmes de production. Tours, France, 20-22 mars 1991.

_____. (1992). An object-oriented methodology for manufacturing system modelling. Summer Computer Simulation Conference: 1123–1128. Reno, Nevada, USA, 27-30 juillet 1992.

GOURGAND, M., and RODIER, S. (2008a). Un outil d'aide a la décision pour le dimensionnement et la planification des blocs opératoires. Modélisation et Simulation (MOSIM): 1734-1743. Paris, France.

_____. (2008b). A Decision-Making Aid Tool for an Operating Theatre Suite Sizing and Planning. International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain (ILS): 309-320. Madisson, USA, 27-30 mai 2008.

_____. (2010). A Decision-Making Tool for an Operating Room Suite Sizing and Planning. *Supply Chain Forum* (à paraître en 2010).

GOURGAND, M., PONTIÈS, O., and RODIER, S. (2008). Projet de modélisation du NHE : Modélisation, Simulation, Optimisation et Gestion des Flux. MeaH - 4 février 2008, Paris.

GUINET, A., and CHAABANE, S. (2003). Operating theatre planning. *International Journal of Production Economics* 85: 69-81.

GUPTA, D. (2007). Surgical Suites' Operations Management. *Production and Operations Management* 16: 689-700.

HAMMAMI, S., LADET, P., ATIDEL, B. H. A., and RUIZ, A. (2007). Une programmation opératoire robuste. *Logistique et Management* 15: 95-111.

HANS, E., WULLINK, G., VAN HOUDENHOVEN, M., and KAZEMIER, G. (2008). Robust surgery loading. *European Journal of Operational Research* 185: 1038-1050.

HERNANDEZ-MATIAS, J. C., VIZAN, A., PEREZ-GARCIA, J., and RIOS, J. (2008). An integrated modelling framework to support manufacturing system diagnosis for continuous improvement. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 24: 187–199.

HURST, J., and JEE-HUGHES, M. (2001). Performance measurement and performance management in OECD Health Systems. *Labour Market and Social Policy - Occasional paper n°47*. OECD.

IDEF0. (1993). Integration Definition for Function Modelling (IDEF0). Draft Federal Information Processing Standards Publication, 1993, http://www.idef.com/Downloads/pdf/idef0.pdf.

IFAC. (1999). GERAM: Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology - Version 1.6.3. *IFIP-IFAC Task Force*. IFIP-IFAC Task Force on Architectures for Enterprise Integration,1999.

IRDES. (2009). Institut de Recherche et Documentation en Economie de la Santé, France, Juin 2009. http://www.irdes.fr.

ISER, J. H., DENTON, B. T., and KING, R. E. (2008). Heuristics for balancing operating room and post-anesthesia resources under uncertainty. Winter Simulation Conference: 1601-1608. Miami, USA, 7-10 December 2008.

JACOBSON, I. (1991). Object-oriented software engineering. ACM.

JEAN, F.-C., SAUQUET, D., LAVRIL, M., LEMAITRE, D., JAULENT, M.-C., and DEGOULET, P. (1994). Intégration de composants logiciels pour développer des systèmes de gestion de l'unité de soins, Informatisation de l'Unité de Soins du Futur, 111-124. Springer-Verlag, France.

JEBALI, A., HADJ ALOUANE, A., and LADET, P. (2006). Operating rooms scheduling. *International Journal of Production Economics* 99: 52-62.

JOHNSON, S. M. (1954). Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included. *Naval Research Logistics Quarterly* 1: 61 - 68.

JUN, J. B., JACOBSON, S. H., and SWISHER, J. R. (1999). Application of discrete event simulation in health care clinics: a survey. *Journal of Operational Research Society* 50: 109-123.

KEELER, E. B., RUBENSTEIN, L. V., KAHN, K. L., DRAPER, D., HARRISSON, E. R., MCGGINTY, M. J., ROGERS, W. H., and BROOK, R. H. (1992). Hospital Characteristics and Quality of Care. *Journal of the American Medical Association* 268: 1709-1714.

KETTINGER, W. J., TENG, J., and GUHA, S. (1997). Appendices for Business process change: A study of methodologies, techniques and tools. *Management Information Systems Quartely Archivist* 14 (Appendices 1-8).

KHARRAJA, S., ALBERT, F., and CHAABANE, S. (2006). Blocs opératoires publics : application de la stratégie block scheduling. Modélisation et Simulation (MOSIM). Rabat, Maroc, 3-5 avril 2006.

KHARRAJA, S., HAMMAMI, S., ABBOU, R., MARCON, E., and LADET, P. (2004). Plan Directeur d'Allocation des Plages Horaires. Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH): 9-11 septembre 2004. Mons, Belgique.

KIM, C.-H., WESTON, R. H., HODGSON, A., and LEE, K.-H. (2003). The complementary use of IDEF and UML modelling approaches. *Computers in Industry* 50: 35-56.

KIM, S.-C., HOROWITZ, I., YOUNG, K. K., and BUCKLEY, T. A. (1999). Analysis of capacity management of the intensive care unit in a hospital. *European Journal of Operational Research* 115: 36-46.

_____. (2000). Flexible bed allocation and performance in the intensive care unit. *Journal of Operations Management* 18: 427-443.

KOKANGUL, A. (2008). A combination of deterministic and stochastic approaches to optimize bed capacity in a hospital unit. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 90: 56-65.

KOWALSKY, Y. (2006). Aide à la décision par l'analyse sémantique et la simulation des interactions dans l'organicube, modèle qualitatif général d'audit pour les enterprises. Thèse de doctorat, Université de Fribourg, Suisse.

KOZAN, E., and GILLINGHAM, S. (1997). A simulation model ton increase the efficiency of a hospital maternity system. International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM), 3: 1035-1040. Hobart, Australia, 8-11 Décembre 1997. http://www.mssanz.org.au/MODSIM97/MODSIM97.htm.

KREITCHMAR, M., REINKING, D. P., BROUWERS, H., VAN ZESSEN, G., and JAGER, J. C. (1994). Network models - from paradigm to mathematical tool, Policy and Prediction. Raven Press Ltd, New York.

LACOMME, P. (1998). Optimisation des systèmes de production : méthodes stochastiques et approche multi-agents Thèse de doctorat, Université de Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.

LAMIRI, M., GRIMAUD, F., and XIE, X. (2006). Optimization methods for surgery planning under uncertain demand for emergency surgery. International Federation of Automatic Control Conference (IFAC). Cracow, Pologne, 20-22 septembre 2006.

LANZOLA, G., GATTI, L., FALASCONI, S., and STEFANELLI, M. (1999). A framework for building cooperative software agents in medical applications *Artificial Intelligence in Medicine* 16: 223-249

LECLAIRE, P. (2009). Heuristiques et Métaheuristiques pour des problèmes d'optimisation combinatoire : problème d'équilibrage de lignes d'assemblage et problème de tournées de véhicules. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.

LECLERCQ, P., BENNERT, A., and PIRSON, M. (2003). en pratique de l'Activité Based Costing dans une unité de soins intensifs. Gestion et Ingénierie de Systèmes Hospitaliers (GISEH). Lyon, France, 17-18 janvier 2003.

LI, L. X., and BENTON, W. C. (1996). Performance measurement criteria in health care organizations: Review and future research directions. *European Journal of Operational Research* 93: 449-468.

LIN, X., JANAK, S. L., and FLOUDAS, C. A. (2004). A new robust optimization approach for scheduling under uncertainty: I. Bounded uncertainty. *Computers and Chemical Engineering* 28: 1069–1085.

MACARIO, A., VITEZ, T. S., DUNN, B., and MCDONALD, T. (1995). Where Are the Costs in Perioperative Care?: Analysis of Hospital Costs and Charges for Inpatient Surgical Care. *Anesthesiology* 83: 1138-1144.

MARCON, E., and DEXTER, F. (2006). Impact of surgical sequencing on post anesthesia care unit staffing. *Health Care Management Science* 9: 87-98.

MAYER, R. J., MENZEL, C. P., PAINTER, M. K., DEWITTE, P. S., BLINN, T., and PERAKATH, B. (1995). Information Integration for concurrent engineering (IICE). *IDEF3 Process Description Capture Method Report*. Knowledge Based Systems, Inc., 1995, www.idef.com/pdf/Idef3_fn.pdf

MCMANUS, M. L., LONG, M. C., COOPER, A., and LITVAK, E. (2004). Queuing Theory Accurately Models the Need for Critical Care Resources. *Anesthesiology* 100: 1271-1276.

MEGARSTI, R. (1997). Étude comparative des méthodes d'analyse des systèmes de production. Rapport de D.E.A. de Productique et d'Informatique, Université d'Aix-Marseille III, Marseille, France.

MESKENS, N., and RIANE, F. (2007). Les Hôpitaux face à des défis majeurs. *La Libre Entreprise* 28/07/2007: 7.

MILNE, E., and WHITTY, P. (1995). Calculation of the need for paediatric intensive care beds. *Archives of Disease in Childhood* 73: 505-507.

MOEDBECK, S., PRAET, J. C., LEVECQ, P., and LE MAIRE, A. (2004). Analyse et modélisation des flux financiers en fonction du profil patient. Gestion et Ingénierie de Systèmes Hospitaliers (GISEH). Mons, Belgique, 9-11 septembre 2004.

MORENO, L., AGUILAR, R. M., PIÑEIRO, J. D., ESTÉVEZ, J. I., SIGUT, J. F., and GONZÁLEZ, C. (2001). Using KADS methodology in a simulation assisted knowledge based system: application to hospital management. *Expert Systems with Applications* 20: 235-249.

MULHOLLAND, M. W., ABRAHAMSE, P., and BAHL, V. (2005). Linear Programming to Optimize Performance in a Department of Surgery. *Journal of the American College of Surgeons* 200: 861-868.

NANCI, D., and ESPINASSE, B. (2001). Ingénierie des systèmes d'information Merise. Ed. Vuibert.

NGUYEN, J. M., SIX, P., ANTONIOLI, D., GLEMAIN, P., POTEL, G., LOMBRAIL, P., and LE BEUX, P. (2005). A simple method to optimize hospital beds capacity. *International Journal of Medical Informatics* 74: 39-49.

NORRE, S. (2006). Heurisitiques et Métaheuristiques pour la Résolution de Problèmes d'Optimisation Combinatoire dans les Systèmes de Production. Habilitation à Diriger des Recherches (HDR), Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.

PARMANUM, J., FIELD, D., RENNIE, J., and STEER, P. (2000). National census of availability of neonatal intensive care. *British Medical Journal* 321: 727–729.

PEIDRO, D., MULA, J., JIMÉNEZ, M., and BOTELLA, M. D. M. (2010). A fuzzy linear programming based approach for tactical supply chain planning in an uncertainty environment. *European Journal of Operational Research* 205: 65-80.

PETIT, M., and DOUMEINGTS, G. (2002). Deliverable D1.1 - Report on the State of the Art in Enterprise Modelling. *WP1 – State of the Art*. University of Namur, 2002.

PHAM, D.-N., and KLINKERT, A. (2008). Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research* 185: 1011-1025.

PONÇON, G. (2000). Le management du système d'information hospitalier : la fin de la dictature technologique. Ecole Des Hautes Etudes En Santé Publique.

POURCEL, C., and GOURC, D. (2002). Modélisation d'entreprise : la méthode MECI. École de printemps "Modélisation d'entreprise". Albi-Carmaux, France, 28-30 Mai 2002.

RATHWELL, G. A., and WILLIAMS, T. J. (1995). Use of the Purdue Enterprise Reference Architecture and Methodology in Industry. IFIP/IFAC Task Force on Architectures for Enterprise Integration. Heron Island, Australie, Novembre 1995. http://www.pera.net/.

REILLY, T. A., MARATHE, V. P., and FRIES, B. E. (1978). A delay-scheduling model for patients using a walk-in clinic. *Journal of Medical Systems* 2: 303-313.

RIDGE, J. C., JONES, S. K., NIELSEN, M. S., and SHAHANI, A. K. (1998). Capacity planning for intensive care units. *European Journal of Operational Research* 105: 346-355.

ROBOAM, M. (1993). La méthode GRAI - Principes, outils, démarche et pratique. Teknea, Toulouse.

RODIER, S. (2008a). Dimensionnement du futur Plateau Médico-Technique du NHE : étude de l'existant et démarche prospective. *Rapport interne*. LIMOS CNRS UMR 6158 - CHU de Clermont-Ferrand, Septembre 2008.

_____. (2008b). Modèle de Connaissance du Bloc Obstétrical du Nouvel Hôpital d'Estaing - Version 1.1. *Rapport technique R02-2008*. CHU de Clermont-Ferrand, Janvier 2008.

_____. (2009a). Aperçu des problèmes traités sur la planification des blocs opératoires. *Rapport technique R01-2009*. CHU de Clermont-Ferrand, Janvier 2009.

_____. (2009b). Outil d'aide à la décision pour les Unités de Soins du NHE. *Rapport technique R02-2009*. CHU de Clermont-Ferrand, Mars 2009.

RODIER, S., ALEKSY, B., FARGE, M., DELPIROU, F., CHABROL, M., GOURGAND, M., PONTIÈS, O., JACQUETIN, B., LEMERY, D., and GALLOT, D. (2007a). Développement d'un modèle de simulation pour aider à l'organisation du bloc obstétrical. Journée Francophone de Recherche en Obstétrique et Gynécologie. Paris, France, 13 décembre 2007.

_____. (2007b). Développement d'un modèle de simulation pour aider à l'organisation du bloc obstétrical. XXXVIIème Journées Nationales de la Société Française de Médecine Périnatale. Marseille, France, 17-19 Octobre 2007.

_____. (2008). Développement d'un modèle de simulation pour aider à l'organisation du bloc obstétrical. 25ème Journées d'Etudes de l'Association Nationale des Sages-Femmes Cadres (ANSFC). Nancy, France, 1-3 octobre 2008.

ROJO, M. G., ROLÓN, E., CALAHORRA, L., GARCÍA, F. Ó., SÁNCHEZ, R. P., RUIZ, F., BALLESTER, N., ARMENTEROS, M., RODRÍGUEZ, T., and ESPARTERO, R. M. (2008). Implementation of the Business Process Modelling Notation (BPMN) in the modelling of anatomic pathology processes. 9th European Congress on Telepathology and 3rd International Congress on Virtual Microscopy. Toledo, Espagne, 15-17 mai 2008.

ROSS, D. T. (1977). Structured Analysis (SA) : a language for communicating ideas. *IEEE Transactions on Software Engineering (TSE)* 3: 16 - 34.

_____. (1985). Applications and extensions of SADT. *IEEE Computer* 18: 25-34.

ROSSETTI, M. D., and SELANDARI, F. (2001). Multi-objective analysis of hospital delivery systems. *Computers & Industrial Engineering* 41: 309-333.

ROTH, A. V., and VAN DIERDONCK, R. (1995). Hospital Resource Planning: Concepts, Feasibility, and Framework. *Production and Operations Management* 4: 2-29.

ROYSTON, G. (1999). Trials versus modelling in appraising screening programmes. *British Medical Journal* 318: 360-361.

RUMBAUGH, J., BLAHA, M., PREMERLANI, W., EDDY, F., and LORENSEN, W. (1991). Object-oriented modeling and design. Prentice-Hall, Inc.

SAE. (2008). Statistique Annuelle des Établissements de santé, Décembre 2008. http://www.ecosante.fr.

SANTIBÁÑEZ, P., BEGEN, M., and ATKINS, D. (2007). Surgical block scheduling in a system of hospitals: an application to resource and wait list management in a British Columbia health authority. *Health Care Management Science* 10: 269-282.

SARRAMIA, D. (2002). ASCImi : une méthodologie de modélisation multiple et incrémentielle. Application aux systèmes de trafic urbain. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.

SATTLER, J. (2008). Modélisation de flux dans un plateau médico-technique. Rapport de Projet de Fin d'Etudes, Institut Français de Mécanique Avancée, Clermont-Ferrand, France.

SCANDURRA, I., HÄGGLUND, M., and KOCH, S. (2008). From user needs to system specifications: Multi-disciplinary thematic seminars as a collaborative design method for development of health information systems. *Journal of Biomedical Informatics* 41: 557-569.

SCC. (2003). Supply-Chain Operation Reference Model (SCOR), version 6.1. Supply Chain Council, 2003.

SHEER, A. I. (2001). ARIS 6 Collaborative Suite, version 6.

SINREICH, D., and MARMOR, Y. N. (2004). A simple and intuitive simulation tool for analyzing emergency department operations. Winter Simulation Conference: 1994–2002. Washington, USA.

SPANGLER, W. E., STRUM, D. P., VARGAS, L. G., and MAY, J. H. (2004). Estimating Procedure Times for Surgeries by Determining Location Parameters for the Lognormal Model. *Health Care Management Science* 7: 97-104.

STAFFORD, E. F. J., and AGGARWAL, S. C. (1979). Managerial analysis and decision-making in outpatient health clinics. *Journal of the Operational Research Society* 30: 905-915.

SU, S., and SHIH, C.-L. (2002). Resource reallocation in an emergency medical service system using computer simulation. *The American Journal of Emergency Medicine* 20: 627-634.

TOPALOGLU, S. (2006). A multi objective programming model for scheduling emergency medicine residents. *Computers & Industrial Engineering* 51: 375-388.

TOUSSAINT, E., HERENGT, G., GILLOIS, P., and KOHLER, F. (2001). Method to Determine the Bed Capacity, Different Approaches used for the Establishment Planning Project in the University Hospital of Nancy, MEDINFO, 1404-1408.

TRILLING, L. (2006). Aide à la décision pour le dimensionnement et le pilotage de ressources humaines mutualisées en milieu hospitalier. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées, Lyon, France.

TRILLING, L., BESOMBES, B., CHAABANE, S., and GUINET, A. (2004). Investigation et comparaison des méthodes et outils d'analyse pour l'étude des systèmes hospitaliers. Rapport de recherche, Projet HRP2 Hôpitaux Regroupement Partage Pilotage : Livrable D1.0, http://www.laspi.fr/hrp2/livrables-publies.

TROY, P. M., and ROSENBERG, L. (2009). Using simulation to determine the need for ICU beds for surgery patients. *Surgery* 146: 608-620.

TÜTÜNCÜ, Y., and NEWLANDS, D. (2009). Hospital Bed Capacity and Mix Problem for State Supported Public and Fee Paying Private Wards. IÉSEG School of Management, CNRS-LEM (UMR 8179).

VAN DONK, D. P. (2003). Redesigning the supply of gasses in a hospital *Journal of Purchasing and Supply Management* 9: 225-233.

VAN OOSTRUM, J. M., VAN HOUDENHOVEN, M., HURINK, J. L., HANS, E. W., WULLINK, G., and KAZEMIER, G. (2008). A master surgical scheduling approach for cyclic scheduling in operating room departments. *OR Spectrum* 30: 355-374.

VERNADAT, F. (2001). UEML: Towards a unified enterprise modelling language. Modélisation et Simulation (MOSIM): 3-10. Troyes, France, 25-29 avril 2001.

_____. (2002). UEML: Towards a unified enterprise modelling language. *International Journal of Production Research* 40: 4309 – 4321.

WIINAMAKI, A., and DRONZEK, R. (2003). Using simulation in the architectural concept phase of an emergency department design. Winter Simulation Conference: 1912-1916. New Orleans, USA, 7-10 December 2003.

WILLIAMS, T. J. (1992). The Purdue Enterprise Reference Architecture. Instrument Society of America, Research Triangle Park, North Carolina, 1992.

WILSON, J. C. T. (1981). Implementation of Computer Simulation Projects in Health Care. *Journal of the Operational Research Society* 32: 825-832.

WULLINK, G., VAN HOUDENHOVEN, M., HANS, E., and KAZEMIER, G. (2006). Health care process optimisation: Mathematics is the easy part! Mathematics of Operations Research. Lunteren, The Netherlands 17-19 janvier 2006

YEH, J.-Y., and LIN, W.-S. (2007). Using simulation technique and genetic algorithm to improve the quality care of a hospital emergency department. *Expert Systems with Applications* 32: 1073-1083.

Annexes

Annexe I. Liste des principaux codes LAESH

Code LAESH	Définition	Phrase
APPH	Appel de phase	**N, APPH, NP, <liste> ;**
APSP	Appel de sous-phase	**N, APSP, NP, <liste> ;**
BLOC	Définition de bloc	**N, BLOC, NB, NOM, NC ;**
CATE	Définition des numéros de catégorie	**N, CATE, NC, <liste>, <liste2> ;**
CHEM	Description de chemin	**N, CHEM, NCH, NOM, NCA, <proportion>, NPH, <liste>, prior, preempt ;**
CLAS	Définition des classes d'une catégorie	**N, CLAS, NC, NCL, <liste> ;**
CLNT	Description de client	**N, CLNT, NCA, NOM, <proportion>, NCH, <liste1>, NR, <liste2> ;**
DEBO	Début de boucle	**N, DEBO, NE, <nombre> ;**
DECA	Début de catégorie	**N, DECA, NCA, NB ;**
DEFC	Définition de constante	**N, DEFC, NOM, valeur numérique ;**
DEFV	Définition de variable	**N, DEFV, NOM, expression arithmétique ;**
DEPA	Début de traitement en parallèle	**N, DEPA, ND, NT, NB ;**
DEPH	Début de phase	**N, DEPH, NP, <nombre>, <liste>, <ind> ;**
DEPL	Déplacement	**N, DEPL, NR, NB, <temps>, NC ;**
DEPR	Début de prise d'une ressource passive	**N, DEPR, NR, <numéro>, ND ;**
DESP	Début de sous-phase	**N, DESP, NP, <liste> ;**
EXEC	Service élémentaire	**N, EXEC, NR, <liste>, NC, <nombre>, <bit>, ;**
FIBO	Fin de boucle	**N, FIBO, NE ;**
FIBR	Fin de branche	**N, FIBR, NB, ND ;**
FINF	Fin de fichier	**N, FINF** ;
FIPA	Fin de traitement en parallèle	**N, FIPA, ND ;**
FIPH	Fin de phase	**N, FIPH, NP ;**
FIPR	Fin de prise	**N, FIPR, NR, <numéro>, NF ;**
FISP	Fin de sous-phase	**N, FISP, NS ;**
PHAS	Définition de phase	**N, PHAS, NP, NOM, NC, NB, <liste1>, <liste2>, <liste3> ;**
RESA	Définition de ressource active	**N, RESA, NR, NOM, <liste>NB ;**
RESP	Définition de ressource passive	**N, RESP, NR, NOM, <liste>NB;**
TEMP	Temporisation	**N, TEMP, <temps>, NC, <bit> ;**
TEXT	Commentaire	**N, TEXT, <texte> ;**

Annexe II. L'organisation administrative des systèmes hospitaliers : définitions

(sources : (DHOS, 2007), Site Ministère de la Santé et des Sports - http://www.sante-sports.gouv.fr, Site du Ministère du Travail, des Relations sociales, de la Famille, de la solidarité et de la Ville - http://www.travail-solidarite.gouv.fr)

A. Tutelle Publique

Les systèmes hospitaliers, publics comme privés, sont sous la tutelle des agences régionales d'hospitalisation (ARH). Les ARH sont des groupements d'intérêt public associant l'État et l'assurance maladie. Elles ont été créées par l'ordonnance du 24 avril 1996.

Les agences régionales d'hospitalisation (ARH)

Les agences régionales de l'hospitalisation (ARH) sont des groupements d'intérêt public associant l'État et l'assurance maladie. Elles ont été créées par l'ordonnance du 24 avril 1996 et sont devenues opérationnelles au cours du premier trimestre 1997.

Les ARH sont chargées de mettre en œuvre, au niveau régional, la politique hospitalière définie par le Gouvernement, d'analyser et de coordonner l'activité des établissements de santé publics et privés, de conclure avec eux des contrats pluriannuels d'objectifs et de moyens et de déterminer leurs ressources.

Elles s'appuient sur les travaux des conférences régionales de santé qui définissent annuellement les priorités régionales de santé et sur les avis des comités régionaux de l'organisation sanitaire (CROS).

Elles élaborent, en partenariat avec tous les professionnels de santé, les schémas régionaux de l'organisation sanitaire qui tracent, tous les cinq ans, le cadre de l'évolution de l'offre de soins hospitalière en adéquation avec l'ensemble du système de santé.

Instances de coordination, les agences font appel aux services de l'État (DRASS, DDASS, médecin inspecteur régional) ainsi qu'à ceux de l'assurance maladie (CRAM et échelon régional du contrôle médical).

B. Organe délibérant

L'organe délibérant des structures hospitalières est généralement le Conseil d'Administration. Il arrête la politique générale de l'établissement, sa politique d'évaluation et de contrôle. Il délibère sur le projet d'établissement et le contrat pluriannuel, la politique d'amélioration de la qualité des soins, l'état des prévisions des recettes et des dépenses, l'organisation de l'établissement en « pôles d'activité », le règlement intérieur.

Les établissements privés à but non lucratif ont en plus du conseil d'administration une assemblée générale des membres de l'association. Les établissements privés à but lucratif sont dirigés par un conseil d'administration ou un directoire et un conseil de surveillance.

Le Conseil d'Administration (CA)

Alors que dans la législation antérieure, l'article L. 6143-1 du code de la santé publique (CSP) comportait dix-neuf items, le nouvel article regroupe les compétences du conseil d'administration autour des quatorze attributions suivantes :

« 1° Le projet d'établissement et le contrat pluriannuel mentionné à l'article L. 6114-1, après avoir entendu le président de la commission médicale d'établissement ;

2° La politique d'amélioration continue de la qualité et de la sécurité des soins, ainsi que les conditions d'accueil et de prise en charge des usagers, notamment pour les urgences ;

3° L'état des prévisions de recettes et de dépenses prévu à l'article L. 6145-1, ses modifications, ses éléments annexes, le rapport préliminaire à cet état, ainsi que les propositions de tarifs de prestations mentionnés à l'article L. 174-3 du code de la sécurité sociale ;

4° Le plan de redressement prévu à l'article L. 6143-3 ;

5° Les comptes et l'affectation des résultats d'exploitation ;

6° L'organisation interne de l'établissement définie à l'article L. 6146-1 ainsi que les procédures prévues à l'article L. 6145-16 ;

7° Les structures prévues à l'article L. 6146-10 [ex-cliniques ouvertes] ;

8° La politique sociale et les modalités d'une politique d'intéressement ainsi que le bilan social ;

9° La mise en œuvre annuelle de la politique de l'établissement en matière de participation aux réseaux de santé […] et d'actions de coopération […], définie par le projet d'établissement et le contrat pluriannuel d'objectifs et de moyens ;

10° Les acquisitions, aliénations, échanges d'immeubles et leur affectation, ainsi que les conditions des baux de plus de dix-huit ans ;

11° Les baux emphytéotiques mentionnés à l'article L. 6148-2, les contrats de partenariat conclus en application de l'article 19 de l'ordonnance n° 2004-559 du 17 juin 2004 et les conventions conclues en application de l'article L. 6148-3 et de l'article L. 1311-4-1 du code général des collectivités territoriales, lorsqu'elles répondent aux besoins d'un établissement public de santé ou d'une structure de coopération sanitaire dotée de la personnalité morale publique ;

12° La convention constitutive des centres hospitaliers et universitaires et les conventions passées en application de l'article L. 6142-5 ;

13° La prise de participation, la modification de l'objet social ou des structures des organes dirigeants, la modification du capital et la désignation du ou des représentants de l'établissement au sein du conseil d'administration ou de surveillance d'une société d'économie mixte locale […] ;

14° Le règlement intérieur. »

C. Organe d'exécution

Les établissements de santé publique ont deux organes d'exécution : le directeur et le conseil exécutif.

Le directeur de l'hôpital est nommé par le ministre après avis du conseil d'administration. Il nomme l'équipe de direction, dirige le personnel et représente l'établissement en justice et dans tous les actes de la vie civile. Le conseil exécutif, présidé par le directeur associe à parité des membres de l'équipe de direction et des médecins désignés par la Commission Médicale d'Établissement. Ses principaux rôles sont de préparer le projet d'établissement et le contrat pluriannuel, préparer le projet médical (objectifs médicaux pour 5 ans) et donner un avis sur la nomination des responsables de pôles d'activité.

Le Directeur

Aux termes de l'article L. 6143-7 CSP, le directeur conserve sa qualité de représentant légal de l'établissement ainsi que sa double nature d'exécutif du conseil d'administration et de détenteur d'un pouvoir de décision autonome sur les autres matières.

Au titre d'exécutif du conseil d'administration, le directeur *« prépare les travaux du conseil d'administration et lui soumet le projet d'établissement. Il est chargé de l'exécution des décisions du conseil d'administration et met en œuvre la politique définie par ce dernier et approuvée par le directeur de l'agence régionale de l'hospitalisation ».*

Dans les établissements publics de santé autres que les hôpitaux locaux, le directeur devra préparer les projets de délibérations du conseil d'administration avec le conseil exécutif. S'il demeure seul compétent pour la mise en œuvre de ces délibérations, le conseil exécutif en coordonne et en suit l'exécution.

Concernant ses pouvoirs propres, l'article L. 6143-7 précise que le directeur *« est compétent pour régler les affaires de l'établissement autres que celles qui sont énumérées à l'article L. 6143-1. Il assure la gestion et la conduite générale de l'établissement, et en tient le conseil d'administration informé. A cet effet, il exerce son autorité sur l'ensemble du personnel dans le respect des règles déontologiques ou professionnelles qui s'imposent aux professions de santé, des responsabilités qui sont les leurs dans l'administration des soins et de l'indépendance professionnelle du praticien dans l'exercice de son art ».*

Le Conseil Exécutif

Dans les centres hospitaliers, les centres hospitaliers régionaux et les centres hospitaliers universitaires, cette instance permet d'associer plus étroitement les praticiens à la gestion. Les dispositions relatives au conseil exécutif sont applicables depuis la publication du décret susvisé du 10 mai 2005 (JO du 11 mai) qui a fixé le nombre maximum des membres de ces conseils.

Aux termes des dispositions de l'article L. 6143-6-1 CSP, le conseil exécutif :

- prépare l'ensemble des mesures nécessaires à l'élaboration et à la mise en œuvre du projet d'établissement et du contrat pluriannuel d'objectifs et de moyens conclu avec l'ARH et, à ce titre, les délibérations énumérées à l'article L.6143-1 ;
- coordonne et suit l'exécution de ces délibérations ;
- prépare le projet médical ;
- prépare les plans de formation et d'évaluation mentionnés au 3° de l'article R. 6144-1 ;
- donne un avis sur la nomination des responsables de pôle clinique et médico-technique et des chefs de service ;
- donne un avis sur l'évaluation annuelle des conditions d'exécution des contrats internes, notamment la réalisation des objectifs assignés aux pôles ;
- désigne les professionnels de santé que la commission des soins infirmiers, de rééducation et médico-techniques peut associer à ses travaux.

D. Organe consultatif

Les établissements publics et privés peuvent s'appuyer sur plusieurs organes consultatifs :

La commission médicale d'établissement (CME)

Composée de représentants des personnels médicaux, odontologiques et pharmaceutiques, elle est chargée de préparer avec le conseil exécutif le projet médical de l'établissement et de donner des avis sur le projet d'établissement, les programmes d'investissement, les projets de formation, le bilan social, l'amélioration de la qualité et de la sécurité des soins.

Le I de l'article L. 6144-1 CSP (Code de Santé Publique) indique *que « dans chaque établissement public de santé, il est créé une commission médicale d'établissement dotée de compétences consultatives et appelée à préparer, avec le directeur dans les hôpitaux locaux et avec le conseil exécutif dans les autres établissements publics de santé, des décisions dans des matières et dans des conditions fixées par voie réglementaire ».*

Le décret susvisé du 7 juillet 2005, pris en application de cette disposition, a défini la nouvelle réglementation applicable à ces commissions. Les dispositions issues de ce texte ont été recodifiées sous les articles R. 6144-1 à R. 6144-30 par le décret susvisé du 20 juillet 2005.Aux termes de l'article R. 6144-1 CSP, la CME voit ses compétences consultatives obligatoires étendues à l'ensemble des matières donnant lieu à délibération du conseil d'administration et aux actions d'évaluation des pratiques professionnelles des médecins.

Pour lui permettre d'assurer ses différentes missions, le même article indique que la CME doit être régulièrement tenue informée de la situation budgétaire et des effectifs prévisionnels et réels de l'établissement et des créations, suppressions ou transformations d'emplois de praticiens hospitaliers.

Le comité technique d'établissement (CTE)

Composé du directeur et des élus du personnel, il est chargé de donner des avis en matière de projet d'établissement, de budget, d'évolution de la structure d'activité de l'établissement et de politique sociale de l'établissement Les compétences consultatives du comité technique d'établissement (CTE) sont redéfinies à l'article R. 6144-40 CSP. A l'instar de la CME, le CTE doit être dorénavant consulté sur tous les projets de délibérations relevant de la compétence du conseil d'administration.

Les autres attributions du CTE ne sont pas modifiées. Son avis demeure prescrit en ce qui concerne :

- Les conditions et l'organisation du travail dans l'établissement, notamment les programmes de modernisation des méthodes et techniques de travail et leurs incidences sur la situation du personnel.
- La politique générale de formation du personnel, et notamment le plan de formation.
- Les critères de répartition de la prime de service, de la prime forfaitaire technique et de la prime de technicité.

Le comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail (CHSCT)

Composé du directeur et de représentants du personnel, il veille à l'application de toutes les mesures relatives à l'hygiène, à la sécurité et à la qualité des conditions de travail du personnel.

Constitué dans tous les établissements occupant au moins 50 salariés, le CHSCT a pour mission de contribuer à la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs ainsi qu'à l'amélioration des conditions de travail. Composé notamment d'une délégation du personnel, le CHSCT dispose d'un certain nombre de moyens pour mener à bien sa mission (information, recours à un expert…) et les représentants du personnel, d'un crédit d'heures et d'une protection contre le licenciement. Ces moyens sont renforcés dans les entreprises à haut risque industriel. En l'absence de CHSCT, ce sont les délégués du personnel qui exercent les attributions normalement dévolues au comité.

La commission des soins infirmiers, de rééducation et médico-techniques (CSIRMT)

Composée de représentants du personnel de soins infirmiers, de rééducation et médico-techniques, elle est consultée sur l'organisation générale des soins, la politique de formation, le projet d'établissement et l'organisation interne de l'établissement.

L'article L. 6146-9 CSP substitue une commission des soins infirmiers, de rééducation et médico-techniques (CSIRMT) à la commission du service des soins infirmiers (CSSI) créée par la loi n° 91-748 du 31 juillet 1991. Les attributions de cette instance ainsi que ses règles de composition,

d'organisation et de fonctionnement sont définies par le décret susvisé du 26 décembre 2005 (JO du 28/12/05) sous les articles R. 6146- 50 à R. 6146-60 du CSP.

Aux termes de l'article R. 6146-50 la commission des soins infirmiers, de rééducation et médico-techniques est consultée sur :

- L'organisation générale des soins infirmiers, de rééducation et médico-techniques et de l'accompagnement des malades dans le cadre du projet de soins infirmiers, de rééducation et médico-techniques.
- La recherche dans le domaine des soins infirmiers, de rééducation et médico-techniques et l'évaluation de ces soins.
- L'élaboration d'une politique de formation.
- L'évaluation des pratiques professionnelles.
- La politique d'amélioration continue de la qualité et de la sécurité des soins.
- Le projet d'établissement et l'organisation interne de l'établissement.

Annexe III. Composants logiciels

A. Composant logiciel « Surveillance cyclique d'un patient par une ressource humaine »

L'activité de surveillance cyclique d'un patient se décompose en deux traitements élémentaires :

- l'acte de surveillance qui mobilise des ressources matérielles (chambre, lit, monitoring…) et des ressources humaines qui réalisent l'acte de surveillance à proprement parler (vérification des constantes…) ;
- l'intervalle de surveillance qui mobilise des ressources matérielles mais aucune ressource humaine : il s'agit du temps pendant lequel le patient est seul entre deux actes de surveillance.

Cette activité est formalisée avec LAESH par une boucle incluant l'enchaînement d'une opération élémentaire et d'une temporisation (Figure d'annexe III-1). Cette activité fait également appel à plusieurs attributs des classes définies lors de la décomposition systémique.

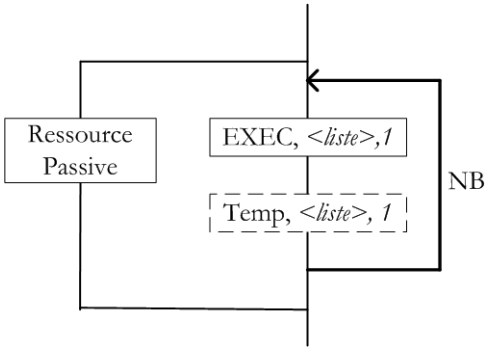


Figure d'annexe III-1. Formalisation LAESH de la surveillance cyclique d'un patient

- **Étape 1**

Si le patient doit passer par une période de surveillance par une ressource humaine, et qu'on ne lui a pas encore affecté de ressource, on lui en affecte une pour réaliser l'acte de surveillance. On balaye les ressources de type souhaité pour en trouver une disponible le temps que doit durer l'acte de surveillance, on l'affecte à la surveillance et on la rend indisponible pour d'autres activités le temps de l'acte de surveillance.

- **Étape 2**

Si le patient a déjà eu une première surveillance par une ressource et que l'on est encore dans l'intervalle de temps dans lequel le patient doit être surveillé, on enchaîne les surveillances suivantes selon l'intervalle défini.

L'Algorithme d'annexe III-1 donne l'exemple simplifié du composant logiciel correspondant à la méthode globale « Surveillance cyclique du patient par une ressource humaine ». Ce composant utilise les classes de conception « Activite_ », « Trait_el » et « Capteur_ ». Il peut être instancié sur n'importe quel système du domaine des systèmes hospitaliers.

Ensembles et indices

T = Ensemble des indices représentant les périodes de l'horizon ; $t \in T = \{1,\ldots,T\}$

I = Ensemble des indices représentant les ressources humaines ; $i \in I = \{1,\ldots,I\}$

P = Ensemble des indices représentant les patients du système ; $p \in P = \{1,\ldots,P\}$

α = L'acte de surveillance

β = L'intervalle de surveillance

γ = L'activité globale de surveillance cyclique γ = {α,β}

Attributs et méthodes des classes techniques utilisés

$deb\_Act(\gamma)_p$ = Date de début de l'intervalle de surveillance du patient *p* *(attribut de la classe « Activite_ »)*

$fin\_Act(\gamma)_p$ = Date de fin de l'intervalle de surveillance du patient *p* *(attribut de la classe technique « Activite_ »)*

$Estimer\_duree(duree\_Trait(\beta))_p$ = Durée calculée de l'intervalle entre deux surveillances du patient *p* *(méthode et attribut de la classe technique « Traitement_elementaire »)*

$Estimer\_duree(DureeSurveillance(\alpha))_p$ = Durée calculée de l'acte de surveillance du patient p *(méthode et attribut de la classe technique « Traitement_elementaire »)*

Variables calculées

elt_Capt***(i,t)*** = 1 si une ressource *i* est disponible à l'instant *t*, 0 sinon
Attribut de la classe technique « Capteur_ »

elt_Capt***(α,p)*** = 1 si une ressource a été affectée à la surveillanvce du patient *p*, 0 sinon
Attribut de la classe technique « Capteur_ »

$DateSurveillance_p$ = Date au plus tôt de la surveillance suivante

Cpteur = Compteur

Algorithme

elt_Capt(*i,t*) initialisé en fonction du planning des ressources *i*

elt_Capt(***α,p***)= Ø

$DateSurveillance_p$= Ø

Cpteur = Ø

<u>Pour</u> t = 1…T **<u>faire</u>**

<u>Pour</u> p = 1…P **<u>faire</u>**

/* ***<u>Étape 1</u>*** *: si le patient doit passer par une période de surveillance par une ressource de type i, et qu'on ne lui a pas encore affecté de ressource, on lui en affecte une. On balaye les ressources de type i. Si la ressource i balayé est disponible le temps que doit durer l'acte de surveillance, on l'affecte à la surveillance et on la rend indisponible pour cette période*/

<u>Si</u> $deb\_Act(\gamma)_p$ <> Ø et t >= $deb\_Act(\gamma)_p$ et elt_Capt(***α,p***)= 0 **<u>alors</u>**

<u>Pour</u> i = 1…I **<u>faire</u>**

<u>Si</u> $\sum_{Cpteur=t}^{t+Estimer\_duree(DureeSurveillance(\alpha))_p} \text{elt\_Capt}(i,t) = Estimer\_duree(DureeSurveillance(\alpha))_p$

alors

elt_Capt(α,p) = 1

DateSurveillance$_p$= t+ *Estimer_duree(DureeSurveillance(α))$_p$* + *Estimer_duree(duree_Trait(β))$_p$*

Pour Cpteur= t… t + *Estimer_duree(DureeSurveillance(α))$_p$* **faire**

elt_Capt(i,t) = 0

Fin Pour

Fin Si

Fin Pour

Sinon

/* ***Étape 2*** *: si le patient a déjà eu une première surveillance par une ressource et que l'on est encore dans l'intervalle de temps dans lequel le patient doit être surveillé, on enchaîne les surveillances suivantes selon l'intervalle défini*/

Si elt_Capt(α,p)<>0 et t >= DureeSurveillance$_p$ et t <= *fin_Act(γ)$_p$* **alors**

Pour i = 1…I **faire**

Si $\sum_{Cpteur=t}^{t+Estimer\_duree(DureeSurveillance(\alpha))_p} \text{elt\_Capt}(i,t) = Estimer\_duree(DureeSurveillance(\alpha))_p$

alors

elt_Capt(α,p)= 1

DateSurveillance$_p$= t+ *Estimer_duree(DureeSurveillance(α))$_p$* + *Estimer_duree(duree_Trait(β))$_p$*

Pour Cpteur= t… t+ *Estimer_duree(DureeSurveillance(α))$_p$* **faire**

elt_Capt(i,t) = 0

Fin Pour

Fin Si

Fin Pour

Fin Si

Fin Si

Fin Pour

Fin Pour

Algorithme d'annexe III-1. Pseudo-code d'un composant logiciel simplifié pour la surveillance cyclique

Après nous être intéressés au composant logiciel de la surveillance cyclique, nous présentons dans la section suivante un composant plus complexe qui s'intéresse à la sélection des ressources humaines pour composer les équipes qui réalisent chaque traitement élémentaire.

B. Composant logiciel « Constitution des combinaisons de ressources pour la réalisation des traitements élémentaires »

Ce composant logiciel doit permettre de sélectionner la combinaison de ressources permettant de réaliser ce traitement élémentaire en tenant compte de l'ensemble des contraintes (planning, règles d'affectation et d'intervention de chaque ressource,…).

Le principe de ce composant est le suivant :

- **Préalable**

On constitue la matrice d'intervention des ressources sur les zones à partir de leurs attributs.

- **Étape 1**

On vérifie que le traitement peut toujours s'effectuer dans le temps imparti et qu'il mobilise des ressources humaines. Dans le cas contraire, l'opération n'est pas réalisée.

- **Étape 2**

On cherche à compléter les éléments de l'une des équipes avec les ressources disponibles affectées au secteur dans lequel se déroule le traitement.

- **Étape 3**

On passe à cette deuxième étape lorsque l'on n'a pas réalisé d'équipe complète lors de la première étape, et que le temps d'attente du traitement élémentaire a dépassé le temps fixé avant de mobiliser les ressources d'autres secteurs.

On reprend la première étape mais en ne prenant en compte que la dernière équipe et en cherchant parmi toutes les ressources pouvant intervenir dans le secteur sans y être nécessairement affectées.

- **Étape 4**

Cette dernière étape concerne uniquement les traitements élémentaires ayant une priorité élevée, lorsque les deux premières étapes n'ont pas donné de résultats et que le temps fixé avant de préempter les ressources est dépassé. On cherche l'ensemble des ressources étant affectées dans le secteur sur lequel se déroule l'opération et qui sont actuellement occupées mais sur une opération de moindre priorité. On préempte prioritairement les ressources utilisées dans les lieux sans patients, puis par ordre de proximité.

L'Algorithme d'annexe III-2 donne en pseudo-code les étapes 1 et 2 du composant logiciel correspondant à la méthode globale « Constitution des combinaisons de ressources pour la réalisation des traitements élémentaires ». Cette méthode fait intervenir les classes de conception du traitement élémentaire (« Trait_el »), des ressources humaines (« Ress_h ») et des plannings (« Planning_ »).

Ensembles et indices

Time	=	Temps courant
R	=	Ensemble des ressources humaines de type r ; $r \in \mathcal{R} = \{1,\ldots,R\}$
I	=	Ensemble des traitements élémentaires ; $i \in \mathcal{I} = \{1,\ldots,I\}$
J	=	Ensemble des zones d'intervention ; $j \in \mathcal{J} = \{1,\ldots,J\}$
S	=	Ensemble des secteurs d'affectation ; $s \in \mathcal{S} = \{1,\ldots,S\}$
Q	=	Ensemble des équipes pouvant réaliser un traitement $q \in \mathcal{Q} = \{1,\ldots,Q\}$
n	=	numéro d'élément (rang) de l'équipe courante

Attributs et méthodes des classes techniques utilisés

nbEqRessH_Trait(i)	=	Nombre d'équipes pouvant réaliser le traitement

		élémentaire *(classe de conception « Trait_el »)*
combiEqRessH_Trait(i)	=	Combinaison détaillée des différentes ressources humaines composant les équipes pour réaliser le traitement *i* *(classe de conception « Trait_el »)*
tpsAvMobi_Trait (i)	=	temps fixé avant de mobiliser les ressources d'autres secteurs *(classe de conception « Trait_el »)*
tpsAvPreempt (i)	=	temps fixé avant de préempter les ressources *(classe de conception « Trait_el »)*
retard_Trait (i)	=	temps de retard autorisé pour réaliser le traitement *(classe technique « Traitement_elementaire »)*
fin_Trait (i)	=	date de fin au plus tard du traitement *(classe de conception « Trait_el »)*
zone_Lieu(lieu_Trait(i)	=	identifiant de la zone rattachée au lieu dans lequel se déroule le traitement *i* *(classe de conception « Lieu_ »)*
id_Ress(r)	=	identifiant de la ressource *r* *(classe de conception « Ress_h »)*
sect_Ress(r)	=	identifiant du secteur d'affectation de la ressource *r* *(classe de conception « Ress_h »)*
zone_Ress(r)	=	ensemble des zones d'intervention de la ressource *r* *(classe de conception « Ress_h »)*
zone_Sect(s)	=	ensemble des zones composant le secteur *s* *(classe de conception « Ress_h »)*
multiTps_Trait(q)	=	coefficient multiplicateur de la durée du traitement avec une prise en charge par l'équipe *q* *(classe de conception « Trait_el »)*
Estimer_duree(duree_Trait(i))	=	Durée estimée du traitement élémentaire *i* *(méthode et attribut de la classe de conception « Trait_el »)*
Etre_actif(Planning(r))	=	Durée d'activité restant du planning de la ressource *r* *(méthode et attribut de la classe de conception « Planning_ »)*

Variables calculées

N(q)	=	nombre d'éléments non vides dans l'équipe *q*
Temp(n)	=	identifiant de la fonction de ressource correspondant à l'élément *n*
Ress(n)	=	ressource utilisée pour compléter l'élément *n* de l'équipe *q*
End*(i)*	=	1 si le traitement *i* a été traité, 0 sinon
Dispo_Rh(r)	=	1 si la ressource *r* est mobilisée pour la constitution d'une équipe, 0 sinon

$$b_{r,j} = \begin{cases} 1 & \text{si la ressource } r \text{ est affectée à un secteur comprenant la zone } j \\ -1 & \text{si la ressource } r \text{ peut intervenir sur la zone } j \\ 0 & \textit{sinon} \end{cases}$$

j = *zone_Lieu(lieu_Trait(i))*

Algorithme

/* Préalable – constitution de la matrice par défaut $b_{r,j}$ à partir des attributs de chaque ressource*/

Pour *r = 1…R* [pour l'ensemble des ressources de type r]

  Pour *j = 1 …J* [pour l'ensemble des zones d'intervention]

Tant que *zone_Ress(j)* <>*0* [les zones d'interventions de la ressource *r* ne sont pas encore toutes répertoriées]

$b_{r,\ zone\_Ress(j)} = -1$

Fin Tant que

Tant que *zone_Sect(sect_Ress(r))* <>*0* [les zones du secteur d'affectation de la ressource *r* ne sont pas encore toutes répertoriées]

$b_{r,\ zone\_Sect(sect\_Ress(r))} = 1$

Fin Tant que

Fin Pour

Fin Pour

Pour *r = 1…R* [pour l'ensemble des ressources de type r]

Pour *j = 1 …J* [pour l'ensemble des zones d'intervention]

Tant que *zone_Ress(j)* <>*0* [les zones d'interventions de la ressource *r* ne sont pas encore toutes répertoriées]

$b_{r,\ zone\_Ress(j)} = -1$

Fin Tant que

Fin Pour

Fin Pour

Si *(nbEqRessH_Trait(i)> 0)* [traitement élémentaire *i* nécessitant au moins une équipe de ressources humaines]

alors

Tant que *End(i) = 0* [opération élémentaire *i* non traitée]

/* **Étape 1** - On vérifie si le traitement *i* peut être effectué dans le temps qui lui est imparti */

Si *retard_Trait (i)=0* [date de fin impérative (aucun retard autorisé)]

et *(TIME + Estimer_duree(i))>fin_Trait(i)* [date non comprise dans l'intervalle de temps disponible]

alors

End(i) = 1 [annulation du traitement *i*]

Fin Si

Fin Tant que [opération élémentaire *i* non traité]

/* **Etape 2** - On cherche les ressources des différentes équipes étant affectées au secteur où se déroule l'opération élémentaire*/

Tant que *End(i)=0* [traitement *i* non traité]

Pour *q= 1 to nbEqRessH_Trait(i)* [chaque équipe *q*]

Pour *x= 1 to N(q)* [chaque élément de l'équipe *q*]

Pour *r = 1 to R(combiEqRessH_Trait$_{x,q}$(i))* [chaque ressource *r* de la fonction de ressource humaine correspondant au rang *x* de l'équipe *q*]

Si (1-*Dispo_Rh(r))***Etre_actif(Plannig(r))* ≥ *Estimer_duree(duree_Trait(i))* [ressource *r* disponible pour compléter une combinaison et en service pour la durée prévue du traitement élémentaire *i*]

et $b_{r,i}$ = |1| [ressource *r* peut intervenir dans la zone où se trouve le traitement *i]*

alors

Temp(n) = id_Ress(r) [mémorisation temporaire de l'identifiant de la ressource *r*]

Dispo_Rh(r) = 0 [ressource *r* notée indisponible pour compléter une autre équipe]

Si *(n = N(q))* [élément *n* : dernier élément de l'équipe *q*] **alors**

Si $\prod_{i=1}^{i=N(q)} Temp(n) \neq 0$ [équipe complète] **alors**

Ress(n) = *Temp(n)* [appel de la ressource dont l'identifiant est mémorisé dans *Temp(n)* pour compléter l'équipe et réaliser le traitement]

Temp(n) = *0* [réinitialisation de *Temp(n)*]

Estimer_duree(duree_Trait(i)) = *Estimer_duree(duree_Trait(i))* * *multiTps_Trait(q)* [application du coefficient pondérateur au temps d'exécution du *i* dépendant de la combinaison *c* utilisée]

End(i) = 1 [le traitement *i* a été traité]

Sinon [équipe incomplète]

Pour *x= 1 to N(q)* [chaque élément de l'équipe *q*]

dispo_Rh(Temp(n)) = *1* [ressource mémorisée dans *Temp(n)* mise à nouveau disponible pour compléter une autre équipe]

Temp(n) = *0* [réinitialisation de *Temp(n)*]

Fin Pour [passage à l'élément suivante

Fin Si [équipe complète]

Fin Si [élément *n* : dernier élément de l'équipe *q*]

Fin Si [ressource *r* est disponible et peut intervenir]

Fin Pour [chaque ressource *r*]

Fin Pour [chaque élément de l'équipe *q*]

Fin Pour [chaque équipe *q*]

Fin Tant que [traitement élémentaire *i* non traité]

Fin Si [traitement élémentaire *i* nécessitant au moins une équipe de ressource(s)]

[…]

Algorithme d'annexe III-2. Étapes 1 et 2 de l'algorithme de sélection des ressources humaines

Nous avons présenté ici uniquement les deux premières étapes du composant logiciel concernant la sélection des ressources humaines pour la composition des équipes. L'implémentation consiste ensuite à traduire les composants logiciels dans le langage choisi pour le modèle d'action. Ce composant a par exemple été traduit en langage Witness (environ 700 lignes de codes et commentaires) et a été ensuite utilisé dans plusieurs modèles d'action conçus pour des systèmes et sous-domaines différents (il a par exemple été utilisé pour les modèles de simulation des unités de soins et des urgences pédiatriques du NHE).

Annexe IV. Présentation de l'outil d'aide à la décision pour le sous-domaine des blocs obstétricaux et de sa mise en œuvre

Dans cette annexe, avant de présenter l'outil d'aide à la décision pour le bloc obstétrical et de son utilisation, nous abordons le travail de recueil et d'analyse statistique réalisé sur les données, étape indispensable pour pouvoir alimenter le modèle de simulation. Dans la section B, nous présentons les caractéristiques de l'outil. Dans la section C, nous donnons les résultats d'une application concrète de notre outil réalisée à l'initiative des équipes médicales

A. Travail sur les données

Pour alimenter le modèle de simulation, un travail de recueil et d'analyse de données a été fait afin de déterminer les caractéristiques des temps des opérations élémentaires (lois de distribution). Les données ont été obtenues à partir de différentes sources : le système d'information de l'hôpital, un recueil manuel de données sur le terrain et des entretiens avec les équipes médicales et paramédicales.

Ce travail statistique a été réalisé avec Madame Jeanne-Marie Gourgand, Maître de Conférences au département Mathématique de l'UFR Sciences de l'Université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand). Des lois de probabilité ont été recherchées pour les variables suivantes :

- Durée de l'accouchement voie basse.
- Durée de séjour dans la salle pour les césariennes programmées.
- Durée de l'acte pour les césariennes programmées.
- Durée de séjour dans la salle pour les césariennes en urgence.
- Durée de l'acte pour les césariennes en urgence.
- Durée de la consultation.

Les données utilisées sont issues du document « Premier recueil des données du bloc obstétrical » réalisé en mars 2007 par Absa Mare et Delphine Colomb-Delsuc, étudiantes de Master, dans le cadre d'un projet d'études au CHU de Clermont-Ferrand.

Nous expliquons ci-dessous la procédure que nous avons suivie. L'objectif est de comparer chaque échantillon de données avec les échantillons générés à partir de différentes lois de distribution. Nous prenons l'exemple de la durée de l'accouchement voie basse et comparons les deux échantillons de données suivant :

- Échantillon 1 : Durée (en minutes) des accouchements voie basse (211 valeurs entre 120,0 et 1130,0)
- Échantillon 2 : Données générées suivant une distribution log-normale (211 valeurs entre 62,1707 et 1245,53)

La première étape consiste à comparer les deux échantillons de données en calculant notamment leurs statistiques résumées. Tableau d'annexe IV-1 donne les statistiques résumées tandis que la Figure d'annexe IV-1 donne la comparaison de ces deux échantillons répartis par classes

Les coefficients d'aplatissement standardisé et d'asymétrie standardisée sont particulièrement intéressants car ils peuvent être utilisés pour déterminer si les échantillons proviennent de la

même distribution. Des valeurs de ces statistiques en dehors de la plage de -2 à +2 indiquent un écart significatif à la normalité, ce qui rend invalides les tests de comparaison des écarts-types. Dans ce cas, les deux coefficients d'asymétrie standardisée sont en dehors de la plage normale. La distribution log-normale a un coefficient d'aplatissement standardisé en dehors de la plage normale.

	Durée d'accouchement	**Distribution log-normale**
Effectif	211	211
Moyenne	429,265	427,738
Variance	45944,6	48243,0
Écart-type	214,347	219,643
Minimum	120,0	62,1707
Maximum	1130,0	1245,53
Étendue	1010,0	1183,36
Asymétrie standardisée	4,30501	6,642
Aplatissement standardisé	0,315101	3,78328

Tableau d'annexe IV-1. Statistiques résumées des échantillons

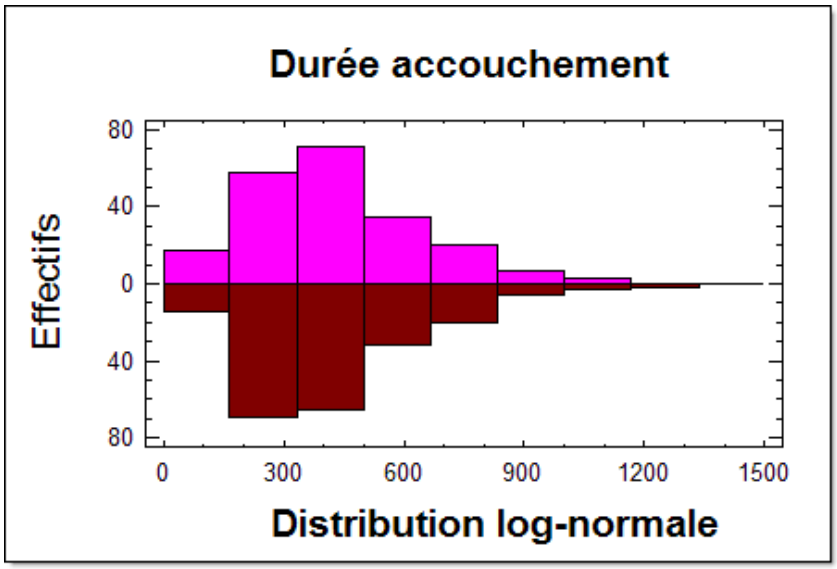


Figure d'annexe IV-1. Comparaison des échantillons répartis par classes

Dans un deuxième temps, nous réalisons un test de Kolmogorov-Smirnov de comparaison des distributions des deux échantillons dont les résultats sont les suivants :

- Statistique DN globale estimée = 0,0758294.
- Statistique K-S bilatérale pour larges échantillons = 0,778868.
- Probabilité approximée = 0,578875.

Ce test est effectué en calculant la distance maximale entre les distributions cumulées des deux échantillons. Dans ce cas, la distance maximale est de 0,0758294. La valeur approximative de la probabilité pour ce test est particulièrement intéressante. Puisque la valeur de la probabilité est supérieure ou égale à 0,05, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les deux distributions au niveau de confiance de 95 %. La Figure d'annexe IV-2 donne le graphique des densités.

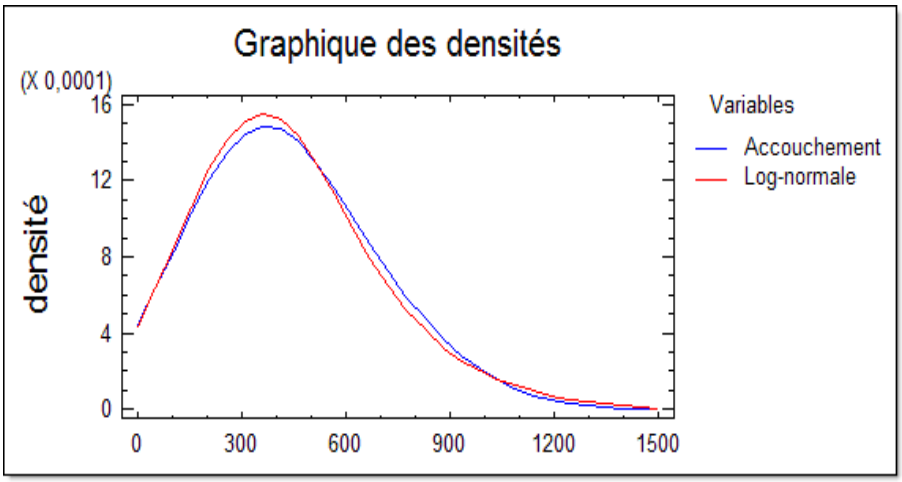


Figure d'annexe IV-2. Graphique des densités des échantillons

Au vu des résultats obtenus, nous pouvons en déduire que les durées d'accouchement voie basse suivent une loi de distribution log-normale. Les tests ont été réalisés sur le logiciel STATGRAPHICS Plus 5.1. et ont fait l'objet d'un rapport technique remis au équipes médicales et à la direction du CHU (Gourgand and Rodier, 2007).

Le Tableau d'annexe IV-2 donne la synthèse des résultats obtenus. Pour chacune des durées, une ou plusieurs lois de distribution ont été trouvées.

Le travail statistique réalisé sur les temps nous permet de pouvoir tester l'outil dans un contexte stochastique.

Durée étudiée (en minutes)	Loi	Moyenne	Écart-type
Accouchement voie basse	Log-normale	429,265	214,347
Séjour dans la salle pour les césariennes programmées	Normale	99,6557	19,3622
Acte pour les césariennes programmées	Normale	39,8197	11,7097
	Log-normale	39,8197	11,7097
Séjour dans la salle pour les césariennes en urgence	Normale	67,6952	19,5385
Acte pour les césariennes en urgence	Normale	35,4667	14,4316
	Gamma*	35,4667	14,4316
Consultations	Log-normale	93,156	46,1338

** Pour utiliser la loi Gamma, il faut prendre les coefficients k et a*

Tableau d'annexe IV-2. Synthèse des résultats statistiques réalisés sur le bloc obstétrical

B. Caractéristiques de l'outil d'aide à la décision pour le bloc obstétrical du NHE

Nous avons utilisé la bibliothèque de composants logiciels afin de concevoir l'outil d'aide à la décision.

Outre un modèle de simulation prenant en compte l'ensemble des caractéristiques formalisées dans le modèle de connaissance, l'outil a une interface graphique intuitive qui permet à l'utilisateur de saisir les caractéristiques et les données en entrée du système, mais également de recevoir et visualiser les résultats, une fois la simulation effectuée.

Un fichier de données d'entrée et de sortie est constitué entre l'interface et le modèle de simulation pour alimenter le modèle et recueillir les résultats bruts avant exploitation.

Comme nous l'avons vu dans notre environnement logiciel, nous avons utilisés deux logiciels différents :

- le tableur Excel (Version 2003 – Microsoft Office) et le langage Visual Basic (VB) pour l'interface utilisateur ;
- le logiciel de simulation à événement discrets Witness (Version 2007 – Lanner) pour le modèle de simulation.

La Figure d'annexe IV-3 présente, de manière simplifiée, l'architecture de l'outil d'aide à la décision.

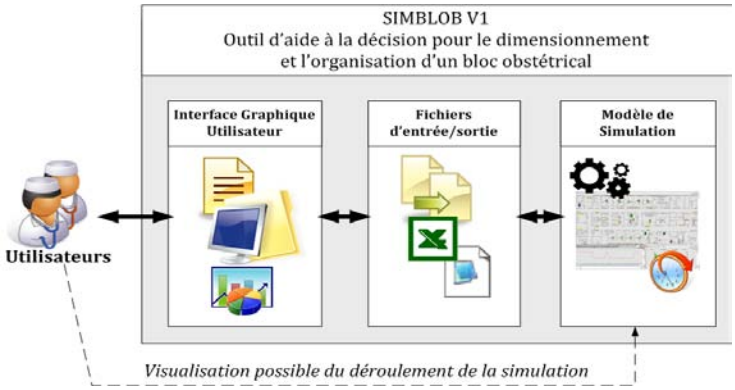


Figure d'annexe IV-3. Architecture de l'outil d'aide à la décision

• Implémentation de l'outil

A partir de nos bibliothèques de composants nous avons implémenté notre outil. Le Tableau d'annexe IV-3 donne les principales caractéristiques du modèle de simulation

.

Modèle d'action Witness			
Types d'article	20	Types de stock	13
Types de machine	35	Stocks	32
Machines	75	Modules	5
Cycles de production (total)	40	Chemins (routage)	102
		Variables	130
Types d'opérateur	16	Lignes de code	20460

Tableau d'annexe IV-3. Caractéristiques du modèle de simulation réalisé avec Witness

Le modèle de simulation a été conçu en tenant compte de la structure physique du futur bloc obstétrical pour l'ensemble des déplacements des patients et des ressources humaines. L'interface graphique du modèle de simulation réalisé avec Witness permet à l'utilisateur de suivre de nombreux indicateurs en temps réel (Figure d'annexe IV-4) :

- taux d'occupation des ressources ;
- nombre de ressources de chaque type occupées simultanément ;
- temps d'attente cumulé dans les zones d'accueil ;
- nombre de patients de chaque catégorie traités…

Cette interface a été particulièrement utile dans la phase de validation du modèle.

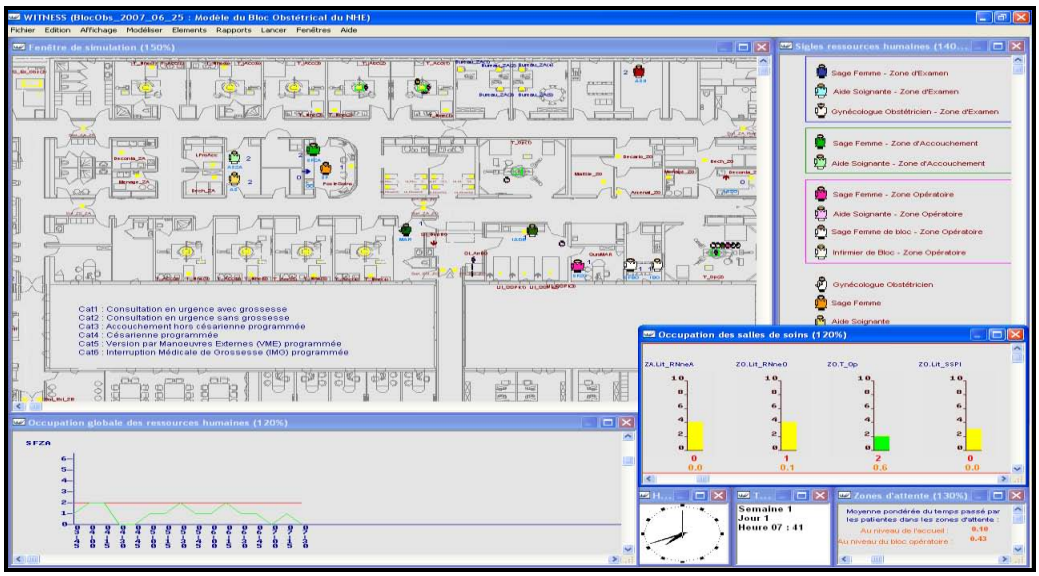


Figure d'annexe IV-4. Aperçu de l'interface graphique du modèle de simulation

L'interface utilisateur permettant de communiquer avec le modèle de simulation a été réalisée à partir d'un classeur Excel dont les principales caractéristiques sont données dans le Tableau d'annexe IV-4.

Interface Excel			
Vue programmation		**Vue utilisateur**	
Feuilles Excel			
Paramétrage de l'application et génération des fichiers en entrée	18	Fenêtres de Paramétrage du scenario de simulation	5
Importation et traitements des résultats	21	Fenêtres d'affichage des résultats et graphiques	10
Éléments Techniques			
Tableaux Croisés dynamiques	28	Boîtes de dialogue personnalisées (UserForm)	11
Modules	18		
Macros	49		
Lignes de codes	10334		

Tableau d'annexe IV-4. Caractéristiques des interfaces utilisateurs réalisées sous Excel

- ## Paramétrage de l'outil d'aide à la décision

Le menu principal de l'interface se décompose en deux parties (Figure d'annexe IV-5) :

- Une partie « Index » qui permet de paramétrer le modèle.).
- Une partie « Pilotage » qui contient plusieurs boutons de commande permettant de générer les données d'entrée, de lancer la simulation, d'importer et de visualiser les résultats et de sauvegarder la simulation.

A partir de l'interface d'entrée, le modèle de simulation est totalement paramétrable. L'utilisateur peut ainsi faire varier :

- le nombre de patientes simulées et leur répartition par catégorie ;
- le planning d'arrivée des patientes ;
- le type et nombre de ressources humaines ;

- les plannings horaires des différentes ressources.

L'utilisateur peut également modifier les variables de temps et la priorité de chaque opération élémentaire, les probabilités attachées aux opérations élémentaires, ainsi que les probabilités sur les chemins LAESH (parcours patient).

Figure d'annexe IV-5. Aperçu du menu principal de l'outil

La partie « Index » du menu principal se décompose en quatre sous-menus :

- **Le menu « Paramétrage »** (Figure d'annexe IV-6) qui permet de paramétrer la charge du système : nombre de patientes souhaitées sur la semaine et répartition de ces patientes par catégorie. L'utilisateur peut soit utiliser les valeurs par défaut (issue du recueil des données) soit simuler son propre scenario. Il peut également définir les plages de programmation pour les interventions programmées. Cette première étape permet de générer un planning d'arrivée des patientes. Les données recueillies n'étant pas suffisantes pour permettre une analyse statistique de la loi d'arrivée des patientes, ce planning est généré, pour les arrivées non programmées, par une loi uniforme et peut ensuite être revu et corrigé par les utilisateurs.

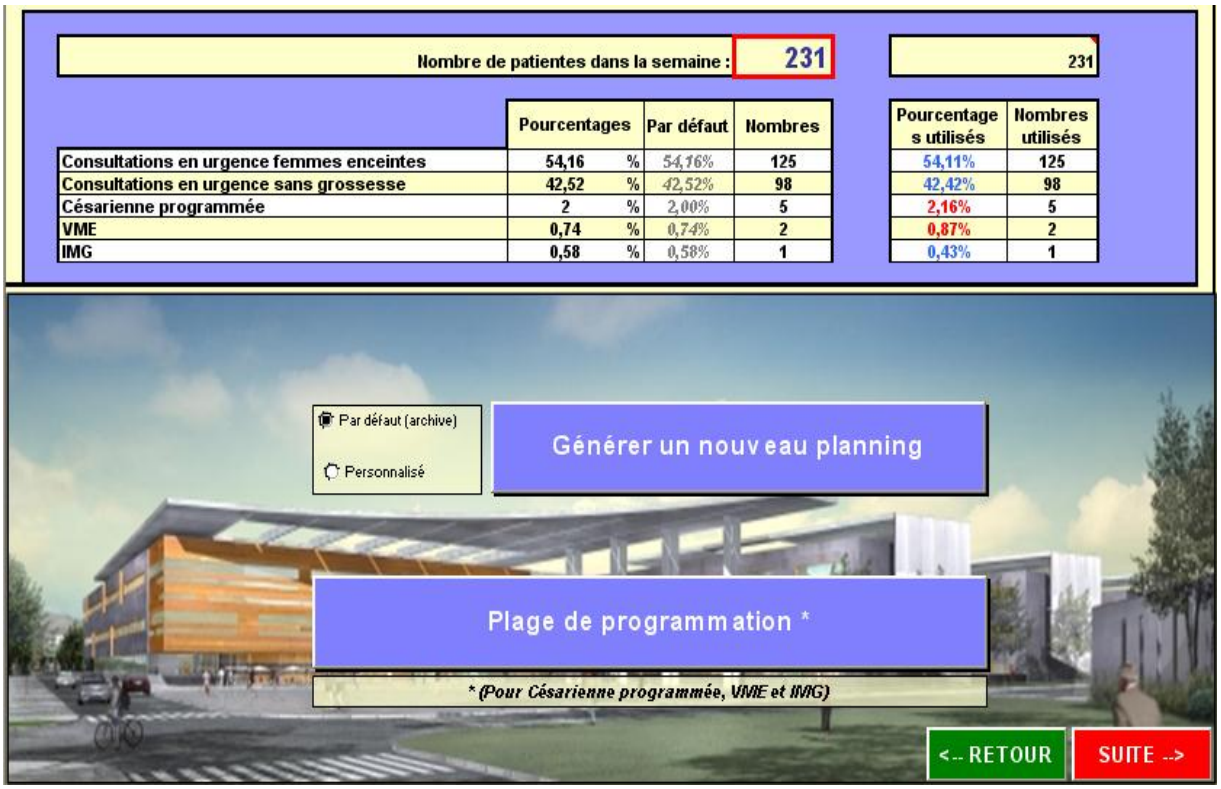


Figure d'annexe IV-6. Aperçu du menu « Paramétrage »

- **Le menu « Arrivées »** (Figure d'annexe IV-7) qui est le résultat de la première étape et affiche le planning des arrivées des patientes pour chaque catégorie, par jour et par intervalles de 30 minutes. L'utilisateur peut modifier manuellement ce planning afin de simuler un scenario bien précis.

		Consultations en urgence femme enceinte	Consultations en urgence sans grossesse	Césarienne programmée	VME	IMG
LUNDI	00:00		1			
	00:30					
	01:00					
	01:30		1			
	02:00					
	02:30	2	2			
	03:00					
	03:30					
	04:00					
	04:30	1				
	05:00					
	05:30					
	06:00	1				
	06:30	1				
	07:00					
	07:30	1	1			
	08:00					
	08:30	1				
	09:00		1			
	09:30					
	10:00					
	10:30					
	11:00	1				
	11:30					
	12:00					
	12:30		1			
	13:00	2	2			
	13:30					
	14:00		1			
	14:30			1		
	15:00		1			
DIMANCHE	09:00					
	09:30					
	10:00	1				
	10:30					
	11:00		1			
	11:30					
	12:00	1				
	12:30	1	1			
	13:00		1			
	13:30					
	14:00					
	14:30					
	15:00	2				
	15:30					
	16:00					
	16:30	1				
	17:00					
	17:30	1				
	18:00					
	18:30					
	19:00	2				
	19:30	1				
	20:00					
	20:30	1				
	21:00		1			
	21:30					
	22:00		1			
	22:30					
	23:00	1				
	23:30					
Total :		125	98	5	2	1
		54,11%	42,42%	2,16%	0,87%	0,43%

Menu

<-- RETOUR SUITE -->

Figure d'annexe IV-7. Aperçu du menu « Arrivées »

- **Le menu « Effectif »** (Figure d'annexe IV-8) qui permet de paramétrer l'ensemble des ressources humaines. L'utilisateur est invité à définir les différents plannings hebdomadaires des ressources humaines et à y affecter le nombre de ressources de chaque type correspondant.

RESSOURCES HUMAINES

Menu <-- RETOUR SUITE -->

AIDE

Postes	Planning 1				Planning 2				Planning 3			
	Début 1	Fin 1	Début 2	Fin 2	Début 1	Fin 1	Début 2	Fin 2	Début 1	Fin 1	Début 2	Fin 2
Lundi	7:00	19:15	0:00	0:00	19:00	7:15	0:00	0:00	8:00	12:00	0:00	0:00
Mardi	7:00	19:15	0:00	0:00	19:00	7:15	0:00	0:00	8:00	12:00	0:00	0:00
Mercredi	7:00	19:15	0:00	0:00	19:00	7:15	0:00	0:00	8:00	12:00	0:00	0:00
Jeudi	7:00	19:15	0:00	0:00	19:00	7:15	0:00	0:00	8:00	12:00	0:00	0:00
Vendredi	7:00	19:15	0:00	0:00	19:00	7:15	0:00	0:00	8:00	12:00	0:00	0:00
Samedi	7:00	19:15	0:00	0:00	19:00	7:15	0:00	0:00	8:00	12:00	0:00	0:00
Dimanche	7:00	19:15	0:00	0:00	19:00	7:15	0:00	0:00	8:00	12:00	0:00	0:00

	Ressources	Effectif	Effectif	Effectif
Zone d'Examens	Sage Femme	1	1	0
	Aide Soignante	1	1	0
	Gynécologue Obstétricien	1	1	0
Zone d'Accouch.	Sage Femme	2	2	0
	Aide Soignante	3	3	0
Zone Opératoire	Sage Femme	0	0	0
	Aide Soignante	1	0	0
	SF de Bloc Opératoire	0	0	1
	IBO	0	0	0
Polyvalents	Gynécologue Obstétricien	2	2	0
	Médecin Anesthésiste	2	1	0
	Infirmier Anesthésiste	3	2	0
	Pédiatre	1	1	0
	ASH	0	0	0
	Sage Femme	0	0	0
	AS/AP	0	0	0

Relève	Horaires
Matin	07:00
Soir	19:00

Durée relève (en minutes)	15

Figure d'annexe IV-8. Aperçu du menu « Effectif »

- **Le menu « Tableaux »** (Figure d'annexe IV-9) qui regroupent l'ensemble des informations nécessaires au fonctionnement du système : durée de chaque opération élémentaire, probabilités et règles de gestion concernant le routage des patients dans les différents chemins, probabilités concernant l'exécution ou non de certaines opérations élémentaires (complication, naissances multiples…). L'utilisateur n'a pas, a priori, à venir modifier les éléments de cette partie. L'évolution des pratiques hospitalières justifie toutefois qu'un accès direct lui soit laissé pour pouvoir éventuellement rectifier certaines données.

TABLEAUX DES TEMPS ET DES PROBABILITES

Temps	(T) de traitement des patients des catégories 1à 8	V1 (min)	V2 (max)	V3 (moy)	V4
T1	Acueil zone d'examen			10	
T3	Installation et premiers examens			10	
T4	Diagnostic médical (consultation)			10	
T5	Examens complémentaires			15	
T6	Installation pour travail VB			10	
T7	Intervalle entre surveillance travail VB (intervalle de passage pendant le travail)			45	
T'7	Surveillance travail voie basse (passage pendant le travail)			10	
T8	Temps total du travail	15	600	307	
T9	Prise en charge des anomalies du travail VB			20	

Probabilités		
p1	Examens complémentaires	0,6
p2	Anomalies au cours du travail pouvant être prises en charge en zone d'accouchement	0,4
p3	Péridurale	0,76
p4	Episiotomie	0,2133
p5	Extraction instrumentale	0,2
p6	Complication pendant la délivrance spontanée	0,05
p7	Complication pendant la délivrance artificielle	0,3
p8	Suture compliquée	0,2
p9	Intervention du pédiatre en cas de complication sur le bébé	1
p10	Naissance multiple	0,07
p11	Délivrance compliquée	0,1
p12	Attente bilans pendant consultation	0,1
p13	Mort né	0,01
p14	complication BB SA	0,05
p15	Complication BB SO	0,07

Chemins		
CAT1	Pch1	0,38
	Pch2	0,004
	Pch3	0,001
	Pch4	0,009
	Pch5	0,4
	Pch6	0,18
	Pch7	0,005
	Pch8	0,02
	Pch9	0,001
CAT2	Pch1	0,99
	Pch2	0
	Pch3	0,01
CAT3	Pch1	0
	Pch2	0
	Pch3	0
	Pch4	0
	Pch5	0
	Pch6	0
CAT4	Pch1	0,97
	Pch2	0,03
CAT5	Pch1	0,099
	Pch2	0,9
	Pch3	0,001
	Pch4	0
CAT6	Pch1	0,04
	Pch2	0,009
	Pch3	0,001
	Pch4	0,95
	Pch5	0
	Pch6	0

Figure d'annexe IV-9. Aperçu du menu « Tableaux »

L'interface utilisateur génère différents types de fichiers de données qui permettent d'alimenter le modèle de simulation avec :

- les données générales concernant la structure du système : nombre et types de ressources, affectation, nombre de patientes, durée de la simulation ;
- les données détaillées concernant chaque patient : durées des opérations élémentaires, règles de routage, nombre de bébé(s)… ;
- les fichiers de planning (format « .sft ») qui contiennent l'ensemble des plannings possibles pour les différentes ressources du système ;
- un fichier d'arrivée des patientes (format « .par ») qui renseigne la date d'arrivée de chaque patiente dans le système et ses différentes caractéristiques.

L'interface d'entrée de l'outil a été réalisée avec M. Matthieu Sené, élève ingénieur, dans le cadre de son Projet de Fin d'Étude.

Afin de faciliter l'utilisation de ces interfaces par les équipes médicales, nous avons également créé un fichier d'aide au format .chm (Compiled HTML) directement rattaché au fichier Excel dont nous donnons un aperçu avec la Figure d'annexe IV-10.

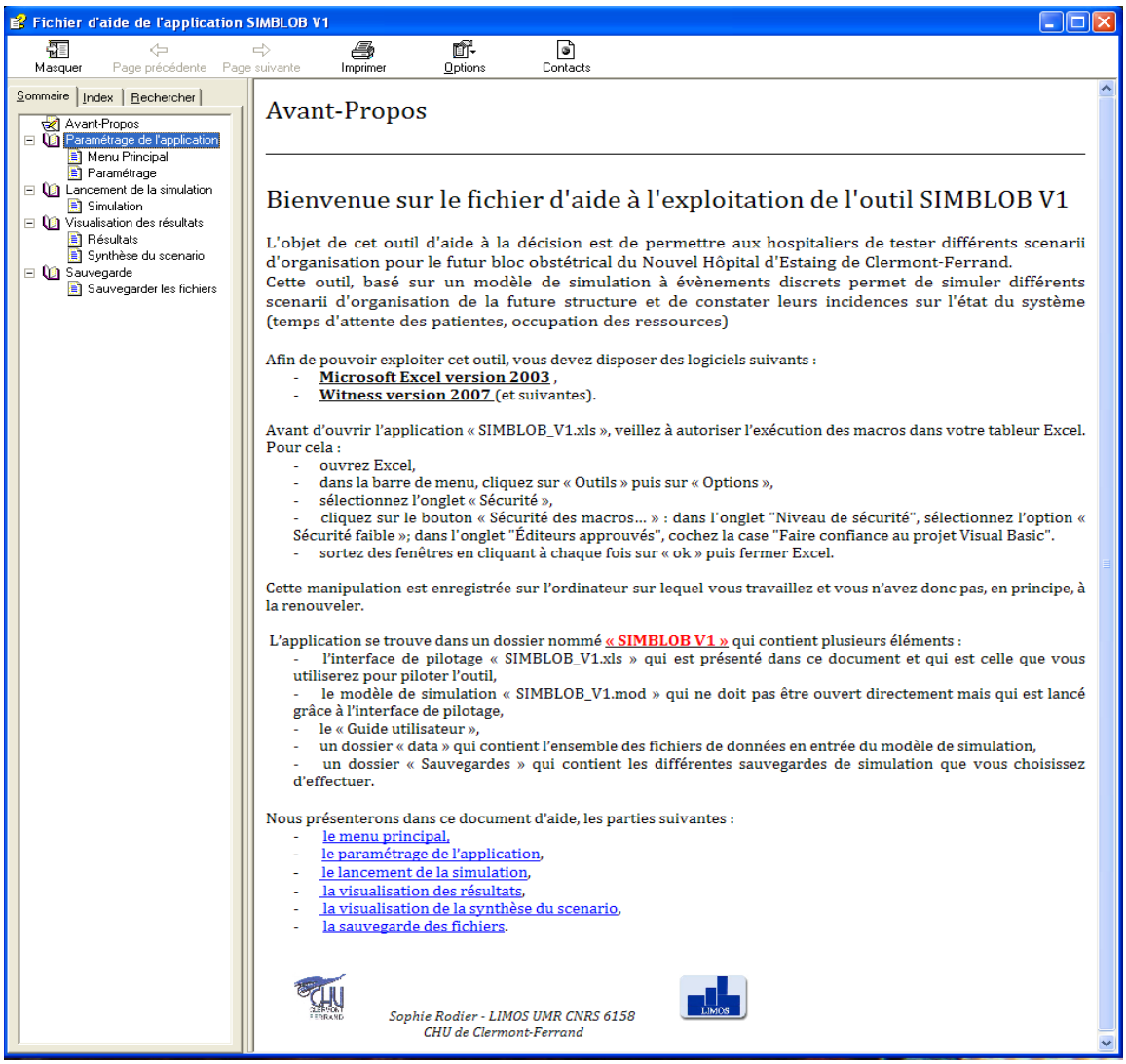


Figure d'annexe IV-10. Aperçu du fichier d'aide

- ## Lancement de la simulation et importation des résultats

Une fois le paramétrage du modèle effectué et les fichiers en entrée générés, l'utilisateur peut revenir sur le menu principal et se servir des boutons de commande du menu de pilotage pour lancer la simulation et importer les résultats. L'outil développé permet de donner des résultats

pour l'ensemble des indicateurs identifiés dans le modèle de résultats du domaine (Tableau 6-9, p. 131). L'ensemble de ces résultats qui permet de mesurer la performance du système est donné sous forme de tableaux de bord et de graphiques. Nous avons également réalisé la génération automatique d'une fiche de synthèse du scenario simulé exportable au format PDF et reprenant les objectifs du scenario et les principaux résultats obtenus.

C. Analyse des résultats de la simulation

Les résultats présentés dans ce paragraphe sont issus d'un travail réalisé au mois d'octobre 2008 à la demande et avec le Professeur Gallot, Gynécologue Obstétricien à la maternité de Clermont-Ferrand. Le principal objectif était de comparer différents scenarii organisationnels en terme, principalement, d'affectation et de dimensionnement des ressources. Le Professeur Gallot voulait en particulier pouvoir apporter rapidement une réponse à certains de ses collègues qui lui proposaient de prendre en charge au NHE une partie des urgences gynécologiques, initialement orientées vers le bloc obstétrical, dans le service de consultation.

Quatre scenarii ont été testés :

- Scenario 1 : appelé également « Scenario de base », il correspond à une organisation imaginée dans un premier temps par le Pr Gallot, Mmes Farges et Delpirou en partant de l'organisation actuelle et en l'adaptant à la nouvelle structure.
- Scenario 2 : Scenario 1 + on fait varier le nombre de Sages-femmes affectées à la zone d'accouchement.
- Scenario 3 : Scenario 1 + on fait varier l'amplitude horaire de la Sage-femme de bloc affectée à la zone opératoire.
- Scenario 4 : Scenario 1 + on allège de 50 % les consultations gynécologiques en urgence, du lundi au vendredi de 8h à 12h et de 14h à 17h (réorientation vers le service de consultation classique).

Chaque scenario est testé sur cinq jeux de données qui utilisent un même nombre global de patientes (hormis le Scenario 4) mais des plannings d'arrivée différents et des parcours patient pouvant varier en fonction des différentes probabilités (complications, naissances multiples…).

L'intérêt principal des quatre scenarii définis est, en partant du scenario de base (Scenario 1) :

- de constater l'incidence sur le système d'une variation des ressources humaines, en termes de quantité de ressources ou de plannings (scenarii 2 et 3) ;
- de constater l'incidence sur le système d'une variation de la charge (scenario 4).

En accord avec les utilisateurs, et afin de limiter le nombre de réplications à générer, nous avons limité l'aspect stochastique du modèle à l'arrivée des patientes et aux différentes probabilités à l'intérieur des parcours. Les temps des opérations élémentaires ont donc été considérés comme déterministes (temps moyens).

La charge du système

Nous sommes partis des données d'activité recueillies en 2006 au sein de la maternité et de la polyclinique. Le mois le plus chargé avait été le mois de mars pour la polyclinique (92 naissances) et ceux de juillet et septembre pour la maternité (160 naissances). Si l'on part du principe que lorsque l'on dimensionne une structure hospitalière, on se base sur la plus forte activité qu'elle ait à réaliser et que l'on additionne ces deux résultats, on obtient 252 naissances sur un mois. Une « moyenne grossière » sur la semaine donne (252/4,5)= 56 naissances sur une semaine.

Par ailleurs, le nombre d'accouchement au CHU augmente depuis 2 ans avec une augmentation entre 2006 et 2007 de 3,3 %. Si l'on prend une augmentation annuelle de 3 % entre 2006 (date du recueil) et 2010 (date de l'ouverture du NHE), on arrive à une moyenne prévisionnelle de 63 naissances sur une semaine en 2010. Ayant pris une hypothèse haute d'activité, nous avons considéré avec les équipes médicales que ce chiffre prenait également en compte « l'effet attractif » généré par l'ouverture d'une nouvelle structure.

En fonction des pourcentages donnés par les équipes médicales concernant la répartition des différents parcours patient, nous pouvons obtenir un nombre approximatif de patientes prises en charge au bloc obstétrique, tous parcours confondus, pour pouvoir obtenir en moyenne un nombre de naissances souhaitées. Nous avons donc choisi de partir sur une base de 177 patientes par semaine, ce qui représente sur les cinq jeux de données simulés entre 60 et 68 naissances par semaine.

Les quatre scenarii définis ont été testés sur cinq jeux de données d'une semaine générés par l'outil d'aide à la décision. La Figure d'annexe IV-11 donne la répartition et la quantité de patientes par catégorie générée sur chacun des jeux de données.

Nombre de patientes dans la semaine :				177
	Pourcentage		Par défaut	Nombre
Consultations en urgence femmes enceintes	54,16	%	54,16%	96
Consultations en urgence sans grossesse	42,52	%	42,52%	75
Césarienne programmée	2	%	2,00%	4
VME	0,74	%	0,74%	1
IMG	0,58	%	0,58%	1

Figure d'annexe IV-11. Répartition des différentes catégories de patientes sur la semaine

Pour les trois premiers scenarii, on garde un nombre total de 177 patientes par semaine. En fonction des différentes probabilités définies avec les utilisateurs, ce sont les caractéristiques des parcours de ces patientes qui vont varier d'un jeu de données à l'autre. Pour le 4ème scenario, on garde les mêmes caractéristiques de parcours patient et plannings d'arrivée que pour les trois scenarii précédents, puis on allège de 50 % les consultations gynécologiques en urgence, du lundi au vendredi de 8h à 12h et de 14h à 17h.

Le nombre, l'affectation et les plannings des ressources humaines

Le principe de base du scenario 1 est donné par la Figure d'annexe IV-12.

Remarque : Dans un premier temps nous ne cherchons pas à dimensionner de manière précise le nombre de médecins. C'est pourquoi nous paramétrons un nombre important de gynécologues obstétriciens et de médecins anesthésistes pour éviter qu'un nombre insuffisant de ces ressources influence les résultats obtenus.

La répartition des ressources sur les autres scenarii se fait de la manière suivante :

- Scenario 2 : Scenario 1 + on supprime un poste de sage-femme 24h/24h en Zone d'Accouchement. Le reste des affectations reste inchangé.
- Scenario 3 : Scenario 1 en changeant le planning de la sage-femme de bloc opératoire (passage d'un planning de 7h à19h15 à un planning de 8h à 12h). Le reste des affectations reste inchangé.
- Scenario 4 : Scenario 1. On reste sur le scenario de base concernant les ressources humaines, seule la charge du système évolue.

		Planning 1				Planning 2			
	Postes	Début 1	Fin 1	Début 2	Fin 2	Début 1	Fin 1	Début 2	Fin 2
	Lundi	7:00	19:15	0:00	0:00	19:00	7:15	0:00	0:00
	Mardi	7:00	19:15	0:00	0:00	19:00	7:15	0:00	0:00
	Mercredi	7:00	19:15	0:00	0:00	19:00	7:15	0:00	0:00
	Jeudi	7:00	19:15	0:00	0:00	19:00	7:15	0:00	0:00
	Vendredi	7:00	19:15	0:00	0:00	19:00	7:15	0:00	0:00
	Samedi	7:00	19:15	0:00	0:00	19:00	7:15	0:00	0:00
	Dimanche	7:00	19:15	0:00	0:00	19:00	7:15	0:00	0:00
	Ressources	Effectif				Effectif			
Zone d'Examens	Sage Femme	1				1			
	Aide Soignante	1				1			
	Gynécologue Obstétricien	1				1			
Zone d'Accouch.	Sage Femme	3				3			
	Aide Soignante	3				3			
Zone Opératoire	Sage Femme	0				0			
	Aide Soignante	1				0			
	SF de Bloc Opératoire	1				0			
	IBO	0				0			
Polyvalents	Gynécologue Obstétricien	2				2			
	Médecin Anesthésiste	2				1			
	Infirmier Anesthésiste	3				2			
	Pédiatre	1				1			
	ASH	0				0			
	Sage Femme	0				0			
	AS/AP	0				0			

Figure d'annexe IV-12. Planning des ressources humaines pour le scenario 1

- ## Résultats obtenus pour le scenario de base

Nous développons ici les principaux indicateurs collectés à partir du modèle de résultats de l'outil d'aide à la décision.

Temps d'attente des patientes

Ce premier indicateur, côté patient, représente **un indicateur de qualité de prise en charge**. Il permet également d'identifier les éventuels goulots d'étranglement du système. Le Tableau d'annexe IV-5 donne les plus petits (bornes inférieures) et les plus grands (bornes supérieures) temps d'attente maximum pour les cinq jeux de données testés.

	Attente maximum sur les 5 jeux de données								
	Accueil	Salle gynéco	Salle obstétrique	RH en Zone d'examen	Salle d'accouch.	RH en Zone d'accouch.	Salle d'opération	Lit SSPI	RH en Zone opératoire
Borne inférieure	0:20	0:10	0:00	0:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Borne supérieure	0:40	0:40	0:36	0:10	0:00	0:00	0:45	0:00	1:45
	Pourcentage de patientes concernées ayant eu un temps d'attente								
Borne inférieure	2%	8%	0%	16%	0%	0%	0%	0%	0%
Borne supérieure	6%	17%	2%	18%	0%	0%	4%	0%	6%

Tableau d'annexe IV-5. Temps d'attente maximum pour les cinq jeux de données - Scenario 1

Les patientes ont attendu, selon le jeu de données testé, au maximum entre 20 et 40 minutes au poste d'accueil avant d'être orientées vers une salle de soins. L'attente à ce poste a concerné au maximum entre 2 et 6 % des patientes qui y sont passées (soit 3 à 10 patientes par semaine). L'attente cumulée de ressources humaines en zone d'examen a concerné au maximum entre 16 et 18 % des patientes qui y ont été prises en charge. Cette attente reste toutefois minime (10 minutes au maximum).

Si l'attente en zone opératoire n'a concerné que 2 patientes sur l'ensemble des jeux de données, elle a néanmoins engendré pour l'une d'elles un temps d'attente de 45 minutes pour la salle

d'opération et un temps d'attente cumulé de 1h45 pour l'ensemble des ressources humaines de cette zone (de son accueil à sa sortie).

Occupation des locaux de soins

Ce deuxième indicateur représente **un indicateur de dimensionnement de la structure physique**. Comme l'indicateur précédent, il permet également d'identifier les éventuels goulots d'étranglement du système.

Le Tableau d'annexe IV-6 donne, pour chacun des jeux de données, et pour chacune des salles de soins (ou places) qui sont en quantité multiple, le nombre maximum de salles (ou places) utilisées sur la semaine.

Le Tableau d'annexe IV-7 donne, pour chacun des jeux de données, et pour chacune des salles de soins (ou places) qui sont en quantité multiple, la fréquence d'utilisation de la dernière salle (ou place) utilisée sur la semaine.

Sur les 3 salles de consultation obstétrique, 2 à 3 salles ont été utilisées par semaine. Selon le jeu de données testé, 7 à 9 salles d'accouchement ont été nécessaires sur les 9 salles existantes. La 9ème salle a été utilisée à deux reprises sur la même semaine (Jeu 2). Les 2 salles d'opération ont été nécessaires pour les 5 jeux de données. La fréquence d'utilisation de la 2ème salle a varié entre 4 et 11 fois par semaine.

Les 3 places de réveil ont également été nécessaires pour absorber l'activité. Lorsqu'elle a été utilisée, la 3ème place a été utilisée 1 à 2 fois par semaine.

Jeux de données	Nombre max de salles de consultation obst. utilisées (sur 2 salles)	Nombre max de salles d'accouchement utilisées (sur 9 salles)	Nombre max de salles d'opération utilisées (sur 2 salles)	Nombre max de places de réveil utilisés (sur 3 places)
Jeu 1	2	7	2	2
Jeu 2	2	9	2	2
Jeu 3	3	7	2	3
Jeu 4	3	8	2	2
Jeu 5	3	8	2	3

Tableau d'annexe IV-6. Utilisation des différents locaux de soins - Scenario 1

	Nombre de fois ou la dernière des salles (ou des places) utilisée a été utilisée			
Jeux de données	Salle de consultation obst.	Salle d'accouchement	Salle d'opération	Place de réveil
Jeu 1	48	3	8	4
Jeu 2	49	2	4	2
Jeu 3	27	2	9	1
Jeu 4	27	2	11	8
Jeu 5	18	1	9	2

Tableau d'annexe IV-7. Fréquence d'utilisation de la dernière salle (ou place) utilisée - Scenario 1

Occupation des ressources humaines

Ce troisième indicateur représente **un indicateur de dimensionnement des ressources humaines**. Le bloc obstétrique accueillant une activité à forte variabilité, composée très majoritairement (à plus de 96 %) de consultations en urgences et d'accouchements non programmés, il apparaît délicat de réfléchir en termes de taux d'occupation des ressources humaines. Nous réfléchirons donc plutôt en termes de nombre de ressources nécessaires pour

effectuer l'activité de soins donnée. Nous rappelons par ailleurs que l'activité qui n'est pas de l'activité de soins liée au patient n'a pas été prise en compte (travail administratif, réunions…).

La Figure d'annexe IV-13, qui illustre la variabilité de l'occupation des ressources humaines, donne un aperçu du nombre de sages-femmes de la zone d'accouchement occupées sur de l'acte de soins, quart d'heure par quart d'heure, sur la semaine d'activité correspondant au 1er jeu de données. Une analyse plus approfondie des résultats montre qu'hormis le troisième poste d'Infirmier Anesthésiste qui n'a été utilisé qu'une seule fois et sur un seul jeu de données (jeu 3), l'ensemble des ressources du bloc obstétrique ont été utilisées à plusieurs reprises sur les cinq jeux de données simulés. Le Tableau d'annexe IV-8 donne, pour chaque type de ressource humaine, l'occupation minimum et l'occupation maximum par zone sur l'ensemble des jeux de données. Selon le jeu de données testé, la sage-femme de la zone d'examen a passé de 25 à 36 % de son activité de soins dans la zone d'accouchement. Les sages-femmes de la zone d'accouchement ont passé de 16 à 26 % de leur activité de soins en zone opératoire. Ces données montrent l'importante mobilité du personnel entre les différentes zones.

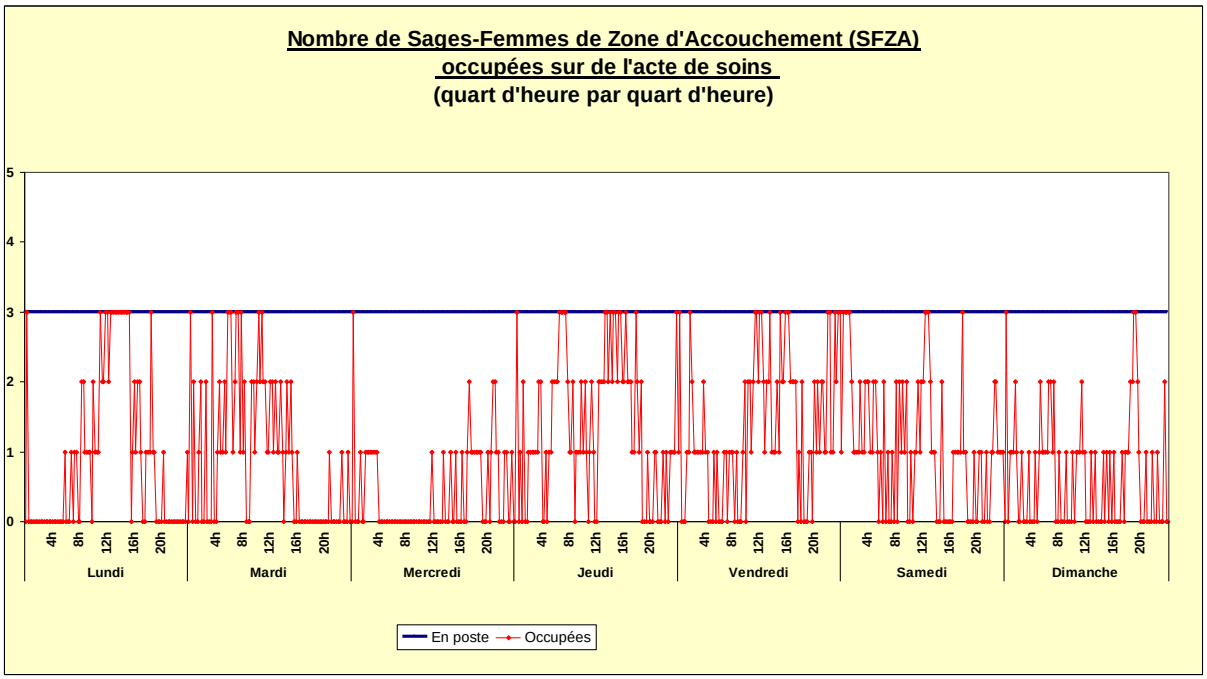


Figure d'annexe IV-13. Suivi du nombre de sages-femmes de la zone d'accouchement occupées sur de l'acte de soins sur une semaine d'activité (quart d'heure par quart d'heure)

		Zone d'examen		Zone d'accouchement		Zone opératoire	
Secteur	Ressources	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Zone d'examen	Aide-Soignante	100%	100%	0%	0%	0%	0%
	Sage-Femme	64%	75%	25%	36%	0%	0%
	Gynécologue Obstétricien	100%	100%	0%	0%	0%	0%
Zone d'accouchement	Aide-Soignante	2%	3%	91%	96%	3%	6%
	Sage-Femme	0%	0%	74%	84%	16%	26%
Zone opératoire	Aide-Soignante	0%	0%	0%	14%	86%	100%
	Sage-femme de bloc	0%	0%	0%	0%	100%	100%
Polyvalents	Gynécologue Obstétricien	14%	19%	6%	9%	72%	79%
	Médecin Anesthésiste	0%	0%	33%	53%	47%	67%
	Infirmière Anesthésiste	0%	0%	0%	0%	100%	100%
	Pédiatre	0%	0%	100%	100%	0%	0%

Tableau d'annexe IV-8. Occupation des Ressources humaines par zone – Scenario 1

Comparaison des différents scenarii avec le scenario de base

Les scenarii 2, 3 et 4 ont fait l'objet d'une comparaison détaillée avec le scenario de base. Nous donnons avec le Tableau d'annexe IV-9 la synthèse générale de ce travail qui est issue du rapport complet et détaillé réalisé avec le Pr Gallot et les cadres supérieures sages-femmes de la maternité et de la polyclinique (Gallot *et al.*, 2008) et diffusé à la direction de l'hôpital..

Scenario	Objectifs	Paramétrage	Commentaires et comparaison avec le scenario 1
Scenario 1	Scenario de référence.	Cf. paragraphe « Paramétrage de l'outil »	☺ Aucune attente n'est constatée en zone d'accouchement, cette zone semble donc être correctement dimensionnée pour l'activité accueillie. Les différentes ressources concentrent majoritairement leur activité de soins sur leur zone d'affectation. 😐 La sage-femme de la zone d'examen passe une partie de son activité de soins dans la zone d'accouchement. L'attente maximum en zone opératoire est importante mais correspond à un cas isolé et doit ainsi être considérée comme tel. ☹ Au niveau de la zone d'examen, l'attente représente jusqu'à 17 à 18 % des patientes. Si l'activité augmente, la salle de consultation gynécologique risque de devenir rapidement un goulot d'étranglement.
Scenario 2	Voir l'incidence de la suppression d'un poste de sage-femme en zone d'accouchement sur le fonctionnement général, et en particulier sur l'accueil et la prise en charge des patientes.	Scenario 1 + on supprime un poste de sage-femme 24h/24h en Zone d'Accouchement.	😐 S'il apparaît indispensable que l'accueil et l'orientation de l'ensemble des patientes, effectués en zone d'examen, soient réalisés avec la présence d'une sage-femme, ce scenario semble difficile à mettre en place car la sage-femme affectée à cette zone serait alors trop souvent mobilisée par la zone d'accouchement (qui est prioritaire par rapport à la zone d'examen) pour pouvoir assurer une présence suffisante en zone d'examen.
Scenario 3	Constater l'incidence sur le fonctionnement du système de la réorganisation du poste de sage-femme de bloc sur un poste de matin (créneau horaire prévu pour les interventions programmées).	Scenario 1 en changeant le planning de la sage-femme de bloc opératoire : passage d'un planning de 7h à19h15 à un planning de 8h à 12h.	☺ Le fait de réorganiser le planning de la sage-femme de bloc sur un planning de 8h à 12h, correspondant au créneau horaire prévu pour l'activité programmée des salles d'opération, n'a que très peu d'incidence sur le temps d'attente des patientes. De plus, cette réorganisation ne nécessite pas de mobiliser de manière significative les ressources des zones voisines pour compenser un éventuel manque de ressources.
Scenario 4	Constater l'incidence de la prise en charge des urgences gynécologique, en réorientant une patiente sur deux vers le service de consultation classique.	Scenario 1 en allégeant de 50 % les consultations gynécologiques en urgence, du lundi au vendredi de 8h à 12h et de 14h à 17h.	☺ Le fait de réorienter une patiente de consultation gynécologique en urgence sur deux vers le service de consultation classique en journée permet tout logiquement de réduire le nombre de patientes qui attendent la libération de la salle de consultation ou de ressources humaines en zone d'examen. 😐 Toutefois, cette réorientation ne concerne que 0 à 12% des patientes par semaine selon le type d'attente et a donc un effet limité sur l'organisation générale du service.

Tableau d'annexe IV-9. Synthèse générale de la comparaison entre les différents scenarii de simulation

Annexe V. Présentation de l'outil d'aide à la décision pour le sous-domaine des blocs opératoires et de sa mise en œuvre

Nous présentons dans cette annexe l'outil d'aide à la décision pour le bloc opératoire et son utilisation. Nous présentons l'outil dans la section A avant de donner un exemple concret de son utilisation réalisé à la demande de la direction et des chirurgiens, afin de tester différentes hypothèses de variation d'activité et différentes configurations d'organisation (section B).

A. Présentation de l'outil VisuPlanning

Nous n'aborderons pas ici la partie technique de cet outil mais nous nous contenterons de le décrire tel qu'il se présente à l'utilisateur. Les interfaces de l'outil ont été réalisées en langage C# avec l'aide d'un stagiaire ingénieur CNAM (Cassagne, 2009).

L'objectif étant de fournir un outil directement utilisable par les décideurs (direction, chirurgiens, cadres de bloc), une solution complète a été développée autour des méthodes de résolution. Cet outil se place à un niveau tactique et opérationnel en travaillant sur un horizon hebdomadaire. Le logiciel est composé de quatre modules différents : définition de la structure et des données, résolution, visualisation et analyse.

- **Module de définition de la structure et des données**

Ce module permet à l'utilisateur de définir les données nécessaires au fonctionnement de l'application. Trois catégories de données sont à définir (Tableau d'annexe V-1). Ces données sont entièrement paramétrables, ce qui en fait un outil générique pouvant s'adapter à toute configuration de bloc opératoire.

Structure	Nombre maximal de salles d'opération. Ensemble des spécialités chirurgicales. Types de salles (spécialisées, polyvalentes, partagées). Horaires d'ouverture de chaque salle pour l'activité (temps de vacation offert aux chirurgiens). Taux de performance souhaité (pourcentage souhaité d'utilisation de la salle).
Ressources humaines	Spécialisation des chirurgiens et des équipes : type d'équipe (chirurgicale, de décontamination) et niveau de spécialité (rattachée à une spécialité chirurgicale, polyvalente). Plannings de disponibilité des chirurgiens et des équipes.
Activité	Pour chaque opération chirurgicale : durée, spécialité, jour initialement programmé (si défini), temps de décontamination de la salle après l'opération (constant ou variable), chirurgien pratiquant l'opération.

Tableau d'annexe V-1. Contraintes prises en compte par l'outil

La Figure d'annexe V-1 montre, pour la partie « Structure » le module de définition des données tel qu'il est proposé dans l'interface utilisateur (onglet « Bloc Opératoire »). Le deuxième onglet de ce module (« Cahier de Bloc ») permet de saisir ou d'importer directement un programme

opératoire : liste d'interventions avec une durée globale ou détaillée (préparation du patient, acte chirurgical et pansement), une spécialité, un temps de décontamination (qui peut être généré de manière constante ou aléatoire pour l'ensemble), et éventuellement un chirurgien et un jour initialement prévu.

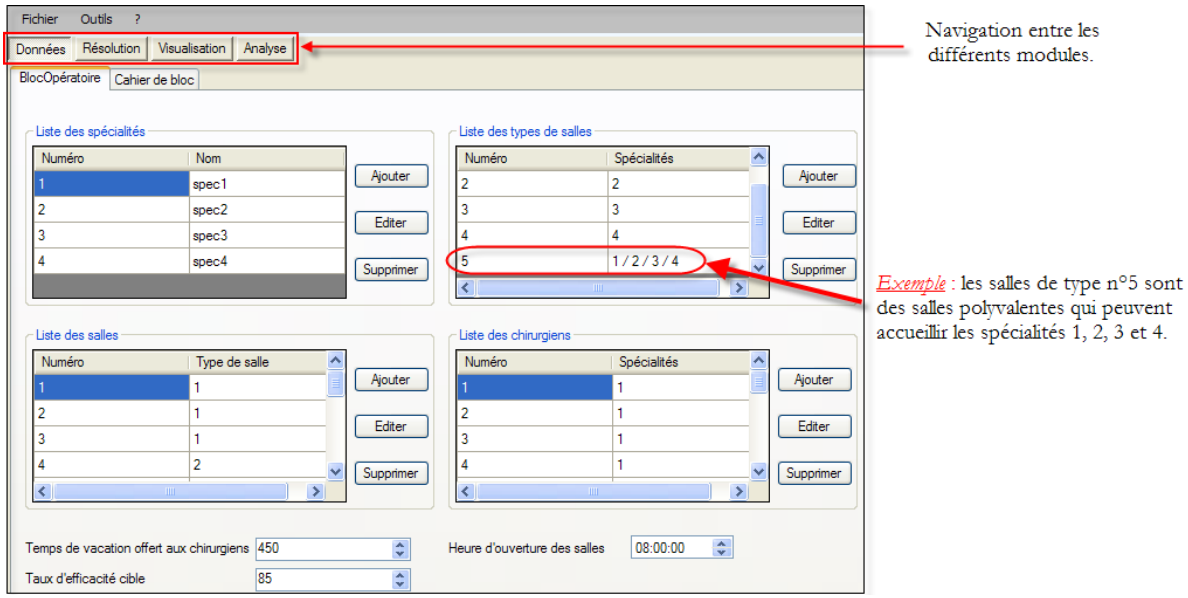


Figure d'annexe V-1. Interface utilisateur : module de définition des données (structure du bloc)

- ## Module de résolution

Le module de résolution est le cœur de l'application. Après avoir mis en œuvre le module de définition des données, l'utilisateur peut choisir différentes heuristiques puis métaheuristiques en fonction de la problématique qu'il souhaite étudier. Pour la problématique de dimensionnement (onglet « Dimensionnement »), l'utilisateur peut choisir entre les différentes heuristiques présentées dans le chapitre 9 et les différentes configurations pré-paramétrées présentées dans le Tableau d'annexe V-2.

Configurations d'organisation	
Configuration 1 (C1)	Ouverture des salles 5 jours par semaine, 7h30 par jour (ex : 8h-15h30)
Configuration 2 (C2)	Configuration 2 (C2) : C1 + 4 salles parmi l'ensemble sont autorisées à continuer 2h30 (ex : de 15h30 à 18h) de plus par jour le soir en mode « polyvalent ».
Configuration 3 (C3)	C1 + ouverture des salles polyvalentes le 6ème jour (samedi) pour une durée de 4h (ex : 8h-12h)
Configuration 4 (C4)	C1 + C2 + C3

Tableau d'annexe V-2. Configurations d'organisation paramétrées dans l'outil

L'utilisateur obtiendra alors le nombre de salles à ouvrir, le taux d'occupation de ces salles ainsi que le nombre d'équipes opératoires et de décontamination à prévoir. Il obtiendra également la planification et l'ordonnancement des interventions correspondant à la solution proposée. La date de début, la date de fin, le jour et la salle de chaque intervention seront alors complétés dans l'onglet « Cahier de bloc ».

Si l'utilisateur souhaite optimiser la planification et l'ordonnancement des interventions, il peut faire appel aux métaheuristiques (onglet « Planification / Ordonnancement ») et choisir le critère à optimiser (par exemple : minimiser le nombre d'équipes opératoires ou minimiser le temps d'attente des chirurgiens entre deux opérations). L'utilisateur peut alors modifier ou non le paramétrage par défaut de la métaheuristique et son système de voisinage (Figure d'annexe V-2).

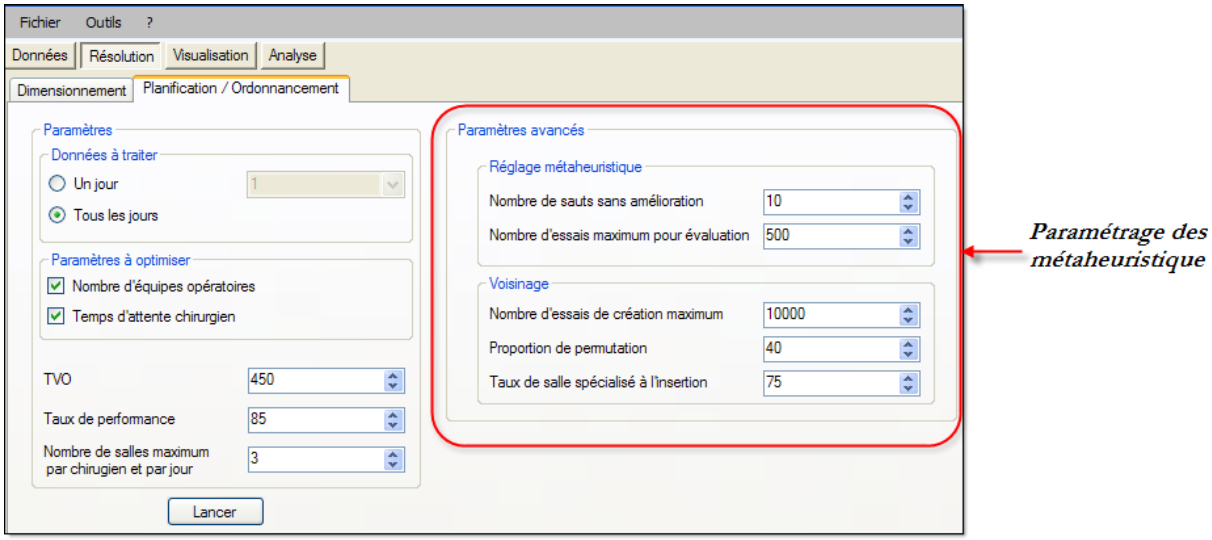


Figure d'annexe V-2. Interface utilisateur : module de résolution (planification et ordonnancement)

- ## Module de visualisation

Le module de visualisation permet à l'utilisateur de visualiser graphiquement le programme opératoire et d'interagir avec les solutions proposées : changer la salle et/ou le jour affecté(e) à une opération, modifier les caractéristiques de l'opération... L'ensemble des modifications peuvent être réalisées graphiquement (en réduisant/agrandissant ou en déplaçant les « blocs graphiques» représentant les opérations) ou à partir du cahier de bloc, la mise à jour entre les deux étant automatique. L'utilisateur peut également choisir de visualiser le planning selon différents points de vue : planning quotidien des salles, planning hebdomadaire par salle, planning hebdomadaire par chirurgien. La Figure d'annexe V-3 donne le planning quotidien des salles pour le premier jour de la semaine (données issues de la semaine de l'historique d'activité utilisé pour le dimensionnement du futur bloc opératoire du NHE) ainsi que les différentes fonctionnalités offertes à l'utilisateur. La Figure d'annexe V-4 donne un extrait du planning hebdomadaire du chirurgien numéro 3 pour la même semaine, et la Figure d'annexe V-5 donne un aperçu des éléments du cahier de bloc à travers la fenêtre permettant de les modifier pour chaque opération.

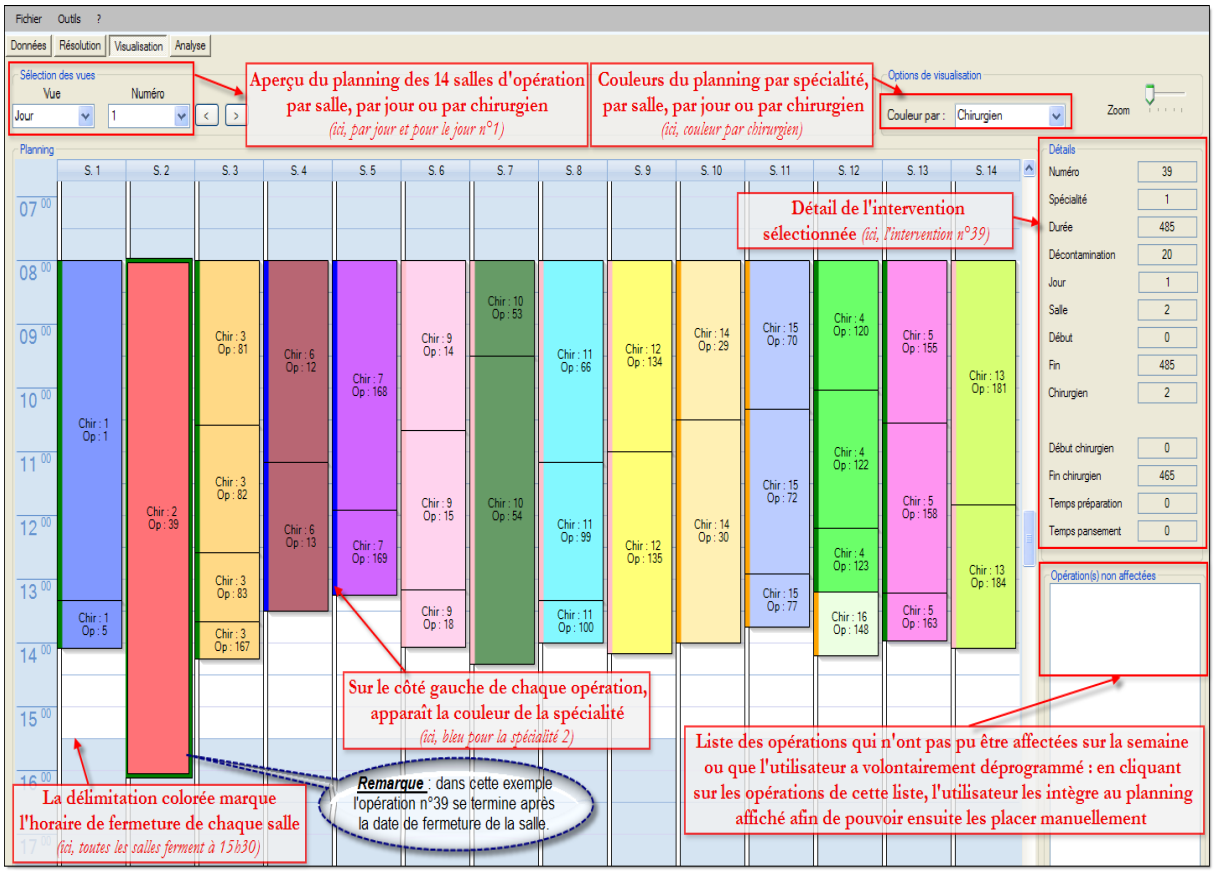


Figure d'annexe V-3. Visualisation d'un planning par jour

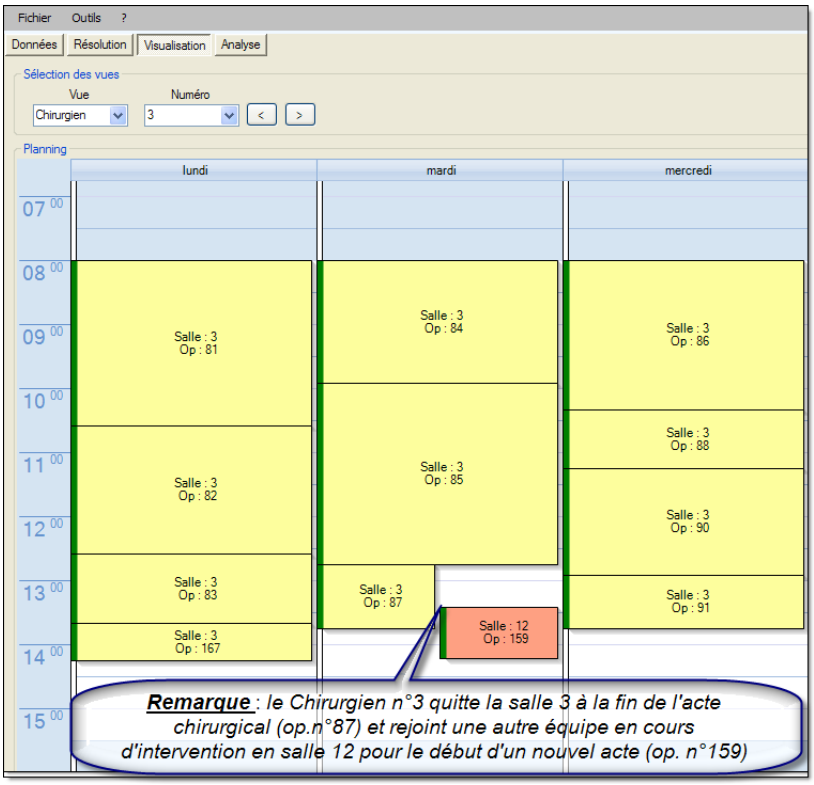


Figure d'annexe V-4. Extrait de la visualisation d'un planning par chirurgien

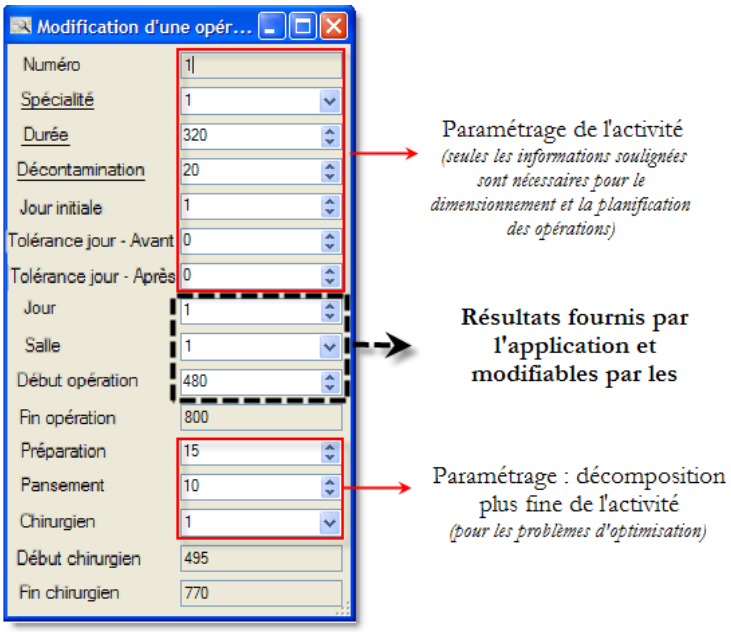


Figure d'annexe V-5. Détail du cahier de bloc pour chaque opération

- ## Module d'analyse

Ce dernier module propose différents indicateurs et graphiques permettant à l'utilisateur d'évaluer la solution courante (qu'elle ait été générée par le module de résolution ou modifiée par l'utilisateur).

De plus, les modifications effectuées pouvant engendrer des solutions violant certaines contraintes (dépassement de la durée d'ouverture d'une salle par exemple), l'application propose de vérifier la validité de la solution en cours, selon différents critères qui sont présentés dans la Figure d'annexe V-6 : l'utilisateur peut ainsi déterminer si les violations de contraintes sont acceptables ou non.

L'onglet « Statistiques » (Figure d'annexe V-6) donne différents tableaux de bords (nombre de salles à ouvrir par jour, nombre d'équipe opératoire et de décontamination maximum à prévoir par jour, taux d'occupation hebdomadaire minimum, maximum et moyen de chaque salle) ainsi que les violation de contraintes du planning en cours. Les onglets « Nombre d'équipes » et « Taux d'occupation » donnent sous forme de graphiques, le nombre d'équipes opératoires et de décontamination pour chaque spécialité à tout instant (Figure d'annexe V-7) et le taux d'occupation quotidien de chaque salle (Figure d'annexe V-8). Tous les résultats concernant les opérations (planification et ordonnancement) apparaissent dans l'onglet « Cahier de Bloc ».

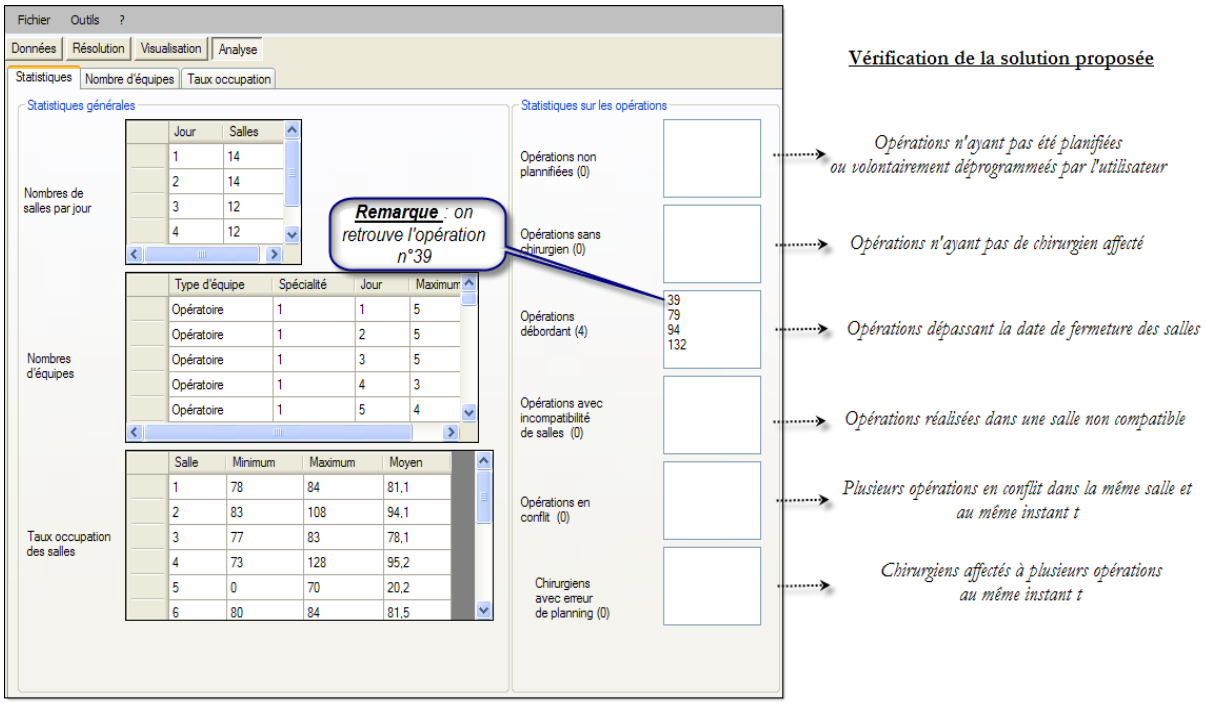


Figure d'annexe V-6. Statistique de visualisation d'un planning par jour

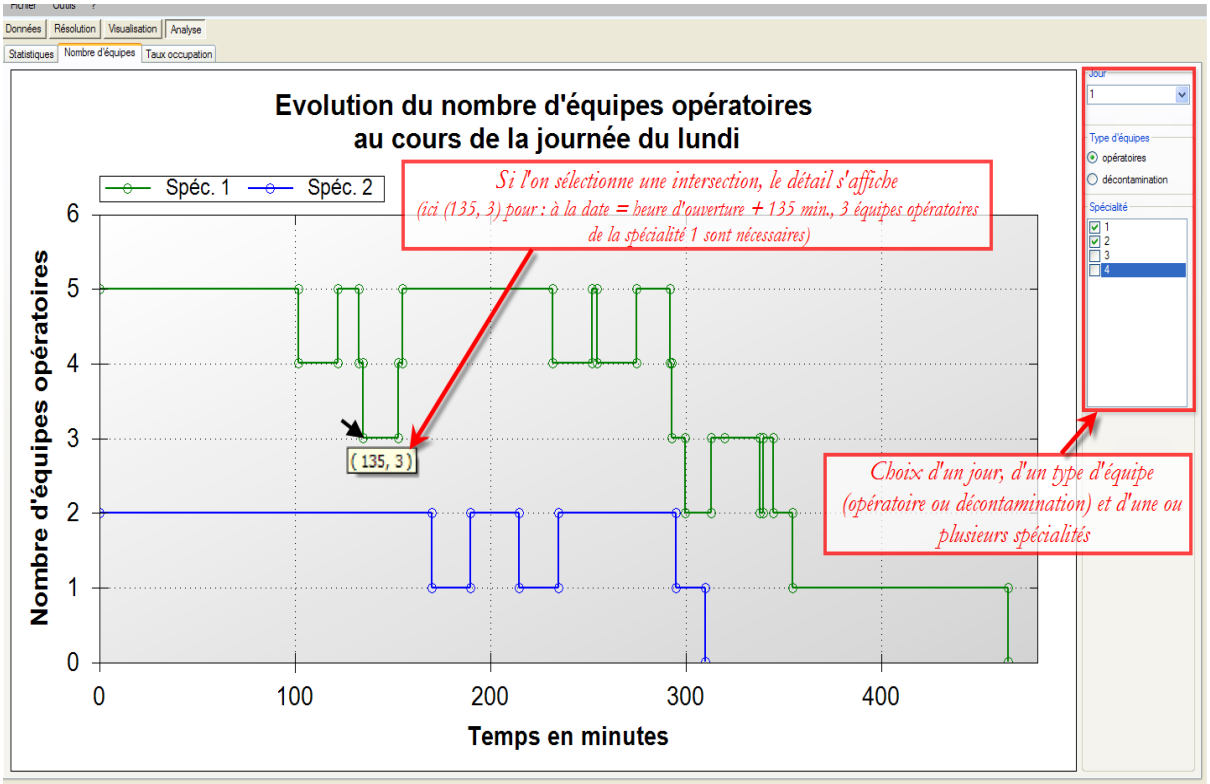


Figure d'annexe V-7. Nombre d'équipes opératoires et de décontamination à tout instant

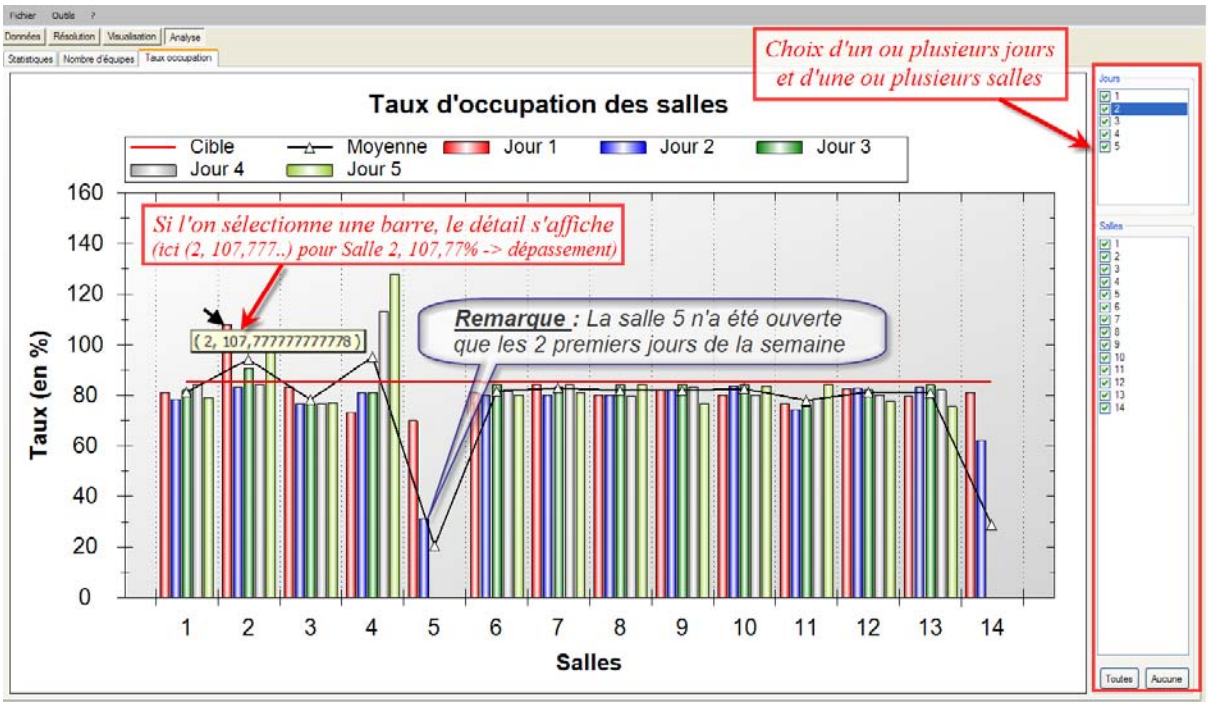


Figure d'annexe V-8. Taux d'occupation quotidien de chaque salle

L'interface utilisateur telle qu'elle est présentée ici est totalement générique. Après discussion avec les futurs utilisateurs, nous avons convenu qu'il était souhaitable que l'établissement puisse la personnaliser d'avantage afin de mieux se l'approprier. Ces personnalisations consistent par exemple à faire apparaître les noms ou initiales des spécialités et des chirurgiens plutôt que des numéros. De même, lorsque ce n'est pas encore le cas et pour plus de lisibilité, les temps devront être affichés au format « hh : mm ». Ces modifications seront apportées dans la version finale de l'outil.

Les médecins anesthésistes souhaiteraient également apparaître en tant qu'entité distincte de l'équipe opératoire au même titre que les chirurgiens. Cette demande est pleinement justifiée du fait qu'ils ont quelquefois à superviser plusieurs interventions en même temps et que leur présence ne soit obligatoire auprès du patient que pour certaines tâches, bien définies. Ces nouvelles contraintes pourront être facilement être prises en compte dans le module de visualisation et d'analyse une fois définies et intégrés dans les modules de données et de résolution.

En cas d'implémentation dans les services, la question de la formation des utilisateurs se pose. Nous avons tenté de faire un outil le plus convivial et intuitif possible pour une prise en main rapide, toutefois une formation de 2 à 3 heures maximum sera nécessaire notamment pour expliquer aux utilisateurs le principe du module de résolution et les paramétrages nécessaires.

B. Exemple réel d'utilisation de l'outil

Hypothèses d'activité

- Hypothèse 1 : aucune variation de l'activité
- Hypothèse 2 : augmentation de + 10 % d'activité pour l'ensemble des spécialités qui pourrait représenter la variation provoquée par l'attractivité d'un nouvel hôpital plus moderne (Δ : +10 %)

- Hypothèse 3 : augmentation de + 10 % d'activité pour l'ensemble des spécialités sauf la gynécologie avec + 30 % justifiée par la prise en charge de l'activité chirurgicale de Riom (Δ : +10 à +30%)

Configurations d'organisation

- Configuration 1 (C1) : Ouverture des salles 5 jours par semaine, 7h30 par jour (ex : 8h-15h30)
- Configuration 2 (C2) : C1 + 4 salles parmi l'ensemble sont autorisées à continuer 2h30 (ex : de 15h30 à 18h) de plus par jour le soir en mode « polyvalent ».
- Configuration 3 (C3) : C1 + ouverture des salles polyvalentes le 6ème jour (samedi) pour une durée de 4h (ex : 8h-12h)
- Configuration 4 (C4) : C1 + C2 + C3

Choix du taux de performance, du temps de décontamination et de l'affectation des salles

- Taux de performance visé : 90 %
- Temps entre deux interventions : 30 minutes
- Nombres de salles affectées aux spécialités :
  - spécialité 1 (CHGE) : 3
  - spécialité 2 (PEDI) : 2
  - spécialité 3 (GYNE) : 4
  - spécialité 4 (TRAU) : 2

Le choix a été fait d'affecter 11 salles aux spécialités. L'application déterminera le nombre supplémentaire de salles polyvalentes à ouvrir pour absorber l'activité.

Le Tableau d'annexe V-3 donne la synthèse des résultats obtenus par l'outil d'aide à la décision.

Méthode de lecture

Si l'on prend l'hypothèse 1 (aucune variation d'activité) :

- **Avec la configuration 1** (ouverture de l'ensemble des salles 5 jours par semaine, 7h30 par jour), il faut prévoir 14 salles réparties comme suit :
  - 11 salles spécialisées ouvertes 5 jours/semaines et 7h30/jour.
  - 3 salles polyvalentes ouvertes 5 jours/semaines et 7h30/jour.
- **Avec la configuration 2** (ouverture de l'ensemble des salles 5 jours par semaine, 7h30 par jour + 4 salles parmi celles ouvertes sont autorisées à continuer 2h30 de plus en mode polyvalent), il faut prévoir 13 salles réparties comme suit :
  - 11 salles spécialisées ouvertes 5 jours/semaines et 7h30/jour.
  - 2 salles polyvalentes ouvertes 5 jours/semaines et 7h30/jour.
  - Parmi ces 13 salles, 4 salles sont autorisées à ouvrir 2h30 de plus par jour, soit une ouverture totale de 7h30 + 2h30 = 10h/jour, 5 jours/semaine.
- **Avec la configuration 3** (ouverture des salles spécialisées 5 jours par semaine, 7h30 par jour et ouverture des salles polyvalentes du lundi au vendredi 7h30 par jour + le samedi matin pendant 4h), il faut prévoir 14 salles réparties comme suit :
  - 11 salles spécialisées ouvertes 5 jours/semaines et 7h30/jour.
  - 3 salles polyvalentes ouvertes 5 jours/semaines et 7h30/jour + le samedi matin pendant 4 heures.

- **Avec la configuration 4** (ouverture de l'ensemble des salles 5 jours par semaine, 7h30 par jour + 4 salles parmi celles ouvertes sont autorisées à continuer 2h30 de plus en mode polyvalent + les salles polyvalentes peuvent être ouvertes le samedi pendant 4 heures), il faut prévoir 13 salles réparties comme suit :
  - 11 salles spécialisées ouvertes 5 jours/semaines et 7h30/jour.
  - 2 salles polyvalentes ouvertes 5 jours/semaines et 7h30/jour.
  - Parmi ces 13 salles, 4 salles sont autorisées à ouvrir 2h30 de plus par jour, soit une ouverture totale de 7h30 + 2h30 = 10h/jour, 5 jours/semaine.

  Au vu de la charge d'activité, les salles polyvalentes n'ont pas besoin d'être ouvertes le samedi matin pour cet exemple.

	Hypothèse 1: Δ + 0% (3677 interventions)				Hypothèse 2: Δ + 10% (4048 interventions)				Hypothèse 3: Δ +10% à +30% (4294 interventions)			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
Nombre total de salles	**14**	**13**	**14**	**13**	**16**	**15**	**16**	**15**	**17**	**16**	**17**	**16**
Spécialité 1 : CHGE n1= **1070**	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Spécialité 2 : PEDI n2= **541**	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Spécialité 3 : GYNE n3= **1230**	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Spécialité 4 : TRAU n4= **836**	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Spécialisées (7h30) L M M J V	**11**	**11**	**11**	**11**	**11**	**11**	**11**	**11**	**11**	**11**	**11**	**11**
Polyvalentes (7h30) L M M J V	**3**	**2**		**2**	**5**	**4**		**4**	**6**	**5**		**5**
Polyvalentes (2h30) L M M J V		***4***		***4***		***4***		***4***		***4***		***4***
Polyvalentes L M M J V (7h30) S (4h)			**3**	-			-	-			**6**	-

Tableau d'annexe V-3. Synthèse des résultats obtenus par l'outil d'aide à la décision

Annexe VI. Présentation de l'outil d'aide à la décision pour le sous-domaine des unités de soins et de sa mise en œuvre

Afin de présenter de manière synthétique l'outil d'aide à la décision des unités de soins, nous avons choisi de publier un extrait du rapport que nous avons réalisé à destination des équipes médicales et soignantes afin de les accompagner lors de la prise en main de l'outil (Rodier, 2009b).

La section A est consacrée au paramétrage de l'outil, tandis que la section B donne un aperçu des résultats obtenus. La section C permet de donner une synthèse générale sur l'outil.

A. Paramétrage de l'outil

Le paramétrage de l'outil va principalement consister à définir :

- le nombre, l'affectation et les plannings des ressources humaines pour effectuer l'activité de l'unité de soins. Comme nous avons modélisé l'activité au niveau le plus fin (niveau microscopique), chaque activité de l'unité de soins correspond à un traitement élémentaire ;
- la charge du système : nombre et caractéristiques des patients présents dans l'unité de soins sur une semaine d'activité.

Le signe que nous utilisons donne aux équipes hospitalières une explication globale sur la lecture du tableau ou de la figure.

Menu principal

Le menu principal (Figure d'annexe VI-1) se décompose en deux grandes parties :

- la partie gauche « Index » (① à ④) permet de naviguer entre les différentes parties de l'outil (modèle de connaissance, gestion des ressources humaines, charge du système, prise en compte des déplacements et visualisation des règles de gestion) ;
- la partie droite permet, lorsque le modèle de connaissance a été préalablement renseigné (①) et que le choix a été fait de prendre ou pas en compte les déplacements (④), de lancer directement la simulation en ne passant que par les étapes de définition des ressources humaines, de leurs plannings (②) et de définition de la charge du système (③). Pour cela, il suffit de cliquer sur **>>>Lancement >>>** (⑦) et de renseigner les différents éléments au fur et à mesure.

L'outil étant totalement paramétrable, le nom de l'unité de soins en cours d'étude peut être renseigné dans la zone de texte ⑥ tandis que l'application peut être fermée sans enregistrer aucune des modifications apportées en utilisant la croix située dans le coin haut droit de l'interface (⑧).

De plus, il est possible de voir à tout moment les règles de gestion prises en considération dans le modèle concernant les ressources humaines (priorité, préemption…) et le routage en cliquant sur le lien « Visualisation des règles de gestion », en bas de l'index (⑤).

Figure d'annexe VI-1. Menu principal de l'outil d'aide à la décision

Les différents paramétrages de l'interface d'entrée de l'outil

Modèle de connaissance

La partie modèle de connaissance se divise en deux sous-parties :

- **Fonction des acteurs et activités aléatoires** (Figure d'annexe VI-2) : permettent de définir l'ensemble des activités programmées et aléatoires réalisées sur la journée, hors activités spécifiques liées à un parcours patient donné ;

Commentaire pour les soignants *: l'activité programmée n°2 ([Num Act]) correspond au Tour patient ([Désignation]) numéro 6 ([Tour patient]). L'activité qui dure un temps moyen de 60 minutes ([Durée P1 (min)]) pour 12 chambres ([Unité (n)]) est réalisée dans toutes les chambres occupées ([Lieu]) entre 1:30 (date de début au plus tôt, [ri (hh :mm)]) et 3:30 du matin (date de fin au plus tard, [ri (hh :mm)]). Cette activité est réalisée par une IDE ([Équipe 1 / R1]) ET une AS ([Équipe 1 / R2]).*

Fonction des acteurs et activités aléatoires

Num Act	Désignation	Jour	Tour patient	Fréquence	Unité *(n)*	Lieu	ri (hh:mm	di (hh:mm	Duree Loi	Durée P1 (min)	Durée P2 (min)	Durée P3 (min)	Prior
1	Commande pharmacie		0			Bureau Infirmier	1:00		0	30			
2	Tour patient		6		12	Chambre	1:30	3:30	0	60			
3	Armoire pharmacie		0			Salle de soins	3:30		0	30			
4	Tâches AS		0			Bureau Infirmier	3:30		0	60			
5	Tâches médicales		0		12	Bureau Infirmier	4:00		0	30			
6	Tour patient		7		12	Chambre	4:30	6:00	0	60			
7	Tâches ménagères		0			Salle de soins	5:45		0	5			
8	Vidage chariot linge sale		0			Local dechets	5:45		0	5			
9	Vider les poubelles		0			Local dechets	5:45		0	5			
10	Relève et transmissions		0			Bureau Infirmier	6:00		0	15			
11	Nettoyage locaux		0			Office alimentaire	6:00		0	10			
12	Nettoyage locaux		0			Bureau Infirmier	6:10		0	10			
13	Nettoyage locaux		0			Salle de decontamination	6:20		0	10			
14	Lecture dossiers		0			Bureau Infirmier	6:30		0	30			
15	Préparation chariot de linge		0			Local Linge propre	6:30		0	15			
16	Nettoyage locaux		0			Permanence medicale	6:30		0	10			
17	Vérifier les pilluliers, injections et perfusions		0		9	Salle de soins	7:00		0	15			
18	Préparation examen		0		9	Chambre	7:00		0	60			
19	Tour ASH		0		35	Chambre	7:00		0	30			
20	Tour patient		1		9	Chambre	7:15	9:00	0	90			
21	Tâches ménagères		0			Office alimentaire	7:30		0	15			
22	Préparation linge		0			Local Linge propre	7:45		0	15			
23	Tâche ménagère		0		9	Chambre	8:00		0	45			
24	Tâches adminisratifs		0		9	Bureau Infirmier	8:45		0	15			
25	Ramassage repas		0		35	Chambre	8:45		0	15			
26	Tour patient		2		9	Chambre	9:00	12:00	0	30			
27	Tâches ménagères		0			Office alimentaire	9:00		0	30			
28	Suivre la visite médicale		0		9	Chambre	9:30		0	75			

										Equipe 1				Equipe 2			
iorité	Préempt	Autori-sation	Tps Sup	Facultatif	Sans Ress	Tps Avt Autre	Tps Avt prempt	Ensemble de RH	Nb Equipe(s) RH	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
0	0	0	0	0	0	0	0		1	IDE							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	IDE	AS						
0	0	0	0	0	0	0	0		1	IDE							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	AS							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	IDE							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	IDE	AS						
0	0	0	0	0	0	0	0		1	IDE	AS						
0	0	0	0	0	0	0	0		1	IDE	AS						
0	0	0	0	0	0	0	0		1	IDE	AS						
1	0	0	0	0	0	0	0	T	1	IDE	AS						
0	0	0	0	0	0	0	0		1	ASH							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	ASH							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	ASH							
0	0	0	0	0	0	0	0	T	1	IDE	AS						
0	0	0	0	0	0	0	0		1	AS							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	ASH							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	IDE							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	AS							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	ASH							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	IDE							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	ASH							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	ASH							
0	0	0	0	0	0	0	0		2	AS				ASH			
0	0	0	0	0	0	0	0		1	AS							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	ASH							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	IDE	AS						
0	0	0	0	0	0	0	0		1	ASH							
0	0	0	0	0	0	0	0		1	IDE							

Figure d'annexe VI-2. Paramétrage de la fonction des acteurs

- **Parcours patient** (Figure d'annexe VI-3) : permet de définir l'ensemble des activités spécifiques réalisées pour les patients appartenant à un même parcours. Ce parcours peut correspondre à une pathologie donnée (ex : abcès anal), à un groupe de pathologies ou à un type de patients (ex : patients lourds). Il y a un tableau par parcours.

Commentaire pour les soignants *: pour l'ensemble des patients appartenant au parcours P2 – Abcès anal, l'activité aléatoire n°5 ([Num Act]) correspond à un électrocardiogramme ([Désignation]). Cette activité est réalisée dans les chambres occupées par les patients concernés ([Lieu]) le deuxième jour de leur séjour ([Jour]=2), pendant le 2ème Tour Patient ([Tour Patient]=2). Cette activité qui dure en moyenne 10 minutes ([Durée P1 (min)]) est prise en charge par une IDE ([Équipe 1 / R1]).*

P2	Abcés anal																											
Num Act	Désignation	Jour	Tour patient	Fréquence	Unité *(n)*	Lieu	ri (hh:mm)	di (hh:mm)	Duree Loi	Durée P1 (min)	Durée P2 (min)	Durée P3 (min)	Priorité	Préempt	Autori-sation	Tps Sup	Facultatif	Sans Ress	Tps Avt Autre	Tps Avt	Nb Esuipe(s) RH	Equipe 1				Equipe 2			
																						R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	Bilan sanguin	1	1			Chambre			0	10			0	0	0	0	0	0	0	0	1	IDE							
2	Accueillir et installer le patient	1	4			Chambre			0	10			0	0	0	0	0	0	5	10	3	IDE				AS			
3	Realiser entretien accueil	1	4			Chambre			0	10			0	0	0	0	0	0	10	5	1	IDE							
4	Preparation du patient	2	1			Chambre			1	15	20		0	0	0	0	0	0	0	0	1	IDE	AS						
5	Electrocardiogramme	2	2			Chambre			0	10			0	0	0	0	0	0	0	0	1	IDE							
6	Surveillance post op.	2	4			Chambre			1	10	20		0	0	0	0	0	0	0	0	1	IDE	AS						

Figure d'annexe VI-3. Paramétrage des parcours patient

Gestion des Ressources humaines

Cette partie se divise en trois sous-parties :

- **Définition des plannings** (Figure d'annexe VI-4) : permet de définir les différents plannings horaires qui pourront être appliqués aux ressources humaines.

	Plan 1				Plan 2				Plan 3				Plan 4			
Postes	Début 1	Fin 1	Début 2	Fin 2	Début 1	Fin 1	Début 2	Fin 2	Début 1	Fin 1	Début 2	Fin 2	Début 1	Fin 1	Début 2	Fin 2
Lundi	6:00	12:00	14:00	20:00	6:00	13:30	0:00	0:00	0:00	0:00	13:00	20:45	0:00	0:00	20:15	6:15
Mardi	6:00	12:00	14:00	20:00	6:00	13:30	0:00	0:00	0:00	0:00	13:00	20:45	0:00	0:00	20:15	6:15
Mercredi	6:00	12:00	14:00	20:00	6:00	13:30	0:00	0:00	0:00	0:00	13:00	20:45	0:00	0:00	20:15	6:15
Jeudi	6:00	12:00	14:00	20:00	6:00	13:30	0:00	0:00	0:00	0:00	13:00	20:45	0:00	0:00	20:15	6:15
Vendredi	6:00	12:00	14:00	20:00	6:00	13:30	0:00	0:00	0:00	0:00	13:00	20:45	0:00	0:00	20:15	6:15
Samedi	6:00	12:00	14:00	20:00	6:00	13:30	0:00	0:00	0:00	0:00	13:00	20:45	0:00	0:00	20:15	6:15
Dimanche	6:00	12:00	14:00	20:00	6:00	13:30	0:00	0:00	0:00	0:00	13:00	20:45	0:00	0:00	20:15	6:15
Attribut	J				M				S				N			

Figure d'annexe VI-4. Définition des plannings

Commentaire pour les soignants : le planning 1 (*[Plan1]*) correspond aux horaires de travail 6:00 - 12:00 et 14:00 - 20:00 du lundi au dimanche. Il s'agit d'un planning de jour (*[Attribut]*=J).

- **Définition des secteurs** (Figure d'annexe VI-5) : permet de définir les différents découpages de l'unité de soins en secteurs.

Commentaire pour les soignants : le 3ème découpage (*[D3]*) correspond à un découpage de l'unité de soins en 3 secteurs (*[Nombre de Secteurs]*) : des lits 1 à 12, des lits 13 à 24 et des lits 25 à 35.

Remarque : par défaut, les ressources qui sont affectées à un secteur ne peuvent intervenir que dans ce secteur, toutefois on peut autoriser les ressources à intervenir dans d'autres secteurs, en cas de besoin. Pour cela, il suffit de cocher la case *« Permettre à l'ensemble des ressources d'intervenir, si besoins, dans les autres secteurs. »*.

Nombre de lits
35

☐ Permettre à l'ensemble des ressources d'intervenir, si besoin, dans les autres secteurs.

Découpages	Nombre de Secteurs	Secteur 1		Secteur 2		Secteur 3		Secteur 4	
D1	1	1	35						
D2	4	1	9	10	18	19	27	28	35
D3	3	1	12	13	24	25	35		
D4	2	1	18	19	35				

Figure d'annexe VI-5. Définition des secteurs

- **Affectation des ressources aux plannings et aux secteurs** (Figure d'annexe VI-6) : permet de définir le nombre de ressources de chaque type, leur planning horaire et leur secteur d'affectation.

	Ressources	Qté	Planning	Attribut planning	N° de découp. des sect. (Dx)	Sect. 1	Sect. 2	Sect. 3	Sect. 4
1	MED	4	Plan 1	J	1	4			
2	IDE	8	Plan 2	M	2	2	2	2	2
3	IDE	6	Plan 3	S	3	2	2	2	
4	IDE	6	Plan 4	N	3	2	2	2	
5	AS	6	Plan 2	M	3	2	2	2	
6	AS	6	Plan 3	S	3	2	2	2	
7	AS	4	Plan 4	N	4	2	2		
8	ASH	4	Plan 2	M	4	2	2		
9	ASH	4	Plan 3	S	4	2	2		
10	INT	1	Plan 1	J	1	1			
11	PSYCHO	1	Plan 1	J	1	1			
12	ASS_SOC	1	Plan 1	J	1	1			
13	EXT	1	Plan 1	J	1	1			
14	KINE	1	Plan 1	J	1	1			

Figure d'annexe VI-6. Affectation des ressources aux plannings et aux secteurs

Commentaire pour les soignants : *8 IDE sont rattachées au planning horaire n°2 ([Planning]=Plan 2) qui est un planning de matin ([Attribut planning]=M). Ces IDE dépendent du découpage de secteur n°2 ([N° de découp. des sect. (Dx)]=2) qui découpe l'unité de soins en 4 secteurs (cf. Figure d'annexe VI-5) et sont réparties comme suit : 2 IDE sur le secteur 1, 2 IDE sur le secteur 2, 2 IDE sur le secteur 3 et 2 IDE sur le secteur 4.*

En fonction de ce tableau, nous générons automatiquement la matrice d'affectation des ressources aux zones $b_{i,j}$ (où i est le type de ressource et j le numéro de zone) telle que nous l'avons présenté dans le chapitre 6 de la première partie . L'utilisateur peut, s'il le souhaite, modifier cette matrice en permettant à certaines ressources d'intervenir dans des zones sur lesquelles elles ne sont pas affectées, et inversement. La Figure d'annexe VI-7 montre un extrait de cette matrice pour les ressources humaines de type (ou fonction) n°6, correspondant aux infirmières (IDE)

				--> Zones d'intervention																																																	
Ress. Paramétrée	Nom générique	Découpage	Secteur	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
IDE(1)	R6(1)	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
IDE(2)	R6(2)	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
IDE(3)	R6(3)	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
IDE(4)	R6(4)	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
IDE(5)	R6(5)	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
IDE(6)	R6(6)	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
IDE(7)	R6(7)	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
IDE(8)	R6(8)	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
IDE(9)	R6(9)	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
IDE(10)	R6(10)	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
IDE(11)	R6(11)	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
IDE(12)	R6(12)	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
IDE(13)	R6(13)	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
[illegible]	R6([illegible])	3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Figure d'annexe VI-7. Affectation des ressources aux zones d'intervention

Commentaire pour les soignants : *l'IDE(3) qui est affectée au secteur n°2 du découpage n°2 peut intervenir dans les zones 10 à 18 (lits du secteur d'affectation) et 36 à 40 (lieux communs).*

Charge du système

La charge du système donne pour chaque jour (et chaque demi-journée) de la semaine, l'occupation des différents lits de l'unité de soins. L'utilisateur peut renseigner la journée du lundi et générer ensuite automatiquement le reste de la semaine en fonction des données qu'il a saisies (Figure d'annexe VI-8).

1	Lundi							
	Matin				Après midi			
	Parcours	Jour Séjour	Durée réelle	DMS	Parcours	Jour Séjour	Durée réelle	DMS
Zones 1	Bilan pré-transplantation du foie	1	6	7	Bilan pré-transplantation du foie	1	6	7
2	Angiocholite et lithiase de la voie biliaire	3		12	Angiocholite et lithiase de la voie biliaire	3		12
3	Cancer primitif du foie	3		12	Cancer primitif du foie	3		12
4	Bilan pré-transplantation du foie	2		7	Bilan pré-transplantation du foie	2		7
5	Abcés anal	2	4	5	Abcés anal	2	4	5
6	Cancer du colon et cancer du sigmoïde:a	1		12	Cancer du colon et cancer du sigmoïde:a	1		12
7	Cancer du pancréas, œsophage, colon, re	6		7	Cancer du pancréas, œsophage, colon, re	6		7
8	Angiocholite et lithiase de la voie biliaire	2		12	Angiocholite et lithiase de la voie biliaire	2		12
9	Cancer œsophage et adénocarcinome	2		7	Cancer œsophage et adénocarcinome	2		7
10	Cancer du rectum:avt staff	3		7	Cancer du rectum:avt staff	3		7
11	Cancer primitif du foie	1		12	Cancer primitif du foie	1		12
12	Cancer du colon et cancer du sigmoïde:a	3		12	Cancer du colon et cancer du sigmoïde:a	3		12
13	Bilan pré-transplantation du foie	2		7	Bilan pré-transplantation du foie	2		7
14	Angiocholite et lithiase de la voie biliaire	1		12	Angiocholite et lithiase de la voie biliaire	1		12
15	Bilan pré-transplantation du foie	2		7	Bilan pré-transplantation du foie	2		7
16	Anémie en carence de fer	1		3	Anémie en carence de fer	1		3
17	Bilan pré-transplantation du foie	2		7	Bilan pré-transplantation du foie	2		7
18	Angiocholite et lithiase de la voie biliaire	3		12	Angiocholite et lithiase de la voie biliaire	3		12
19	Angiocholite et lithiase de la voie biliaire	1		12	Angiocholite et lithiase de la voie biliaire	1		12
20	Cancer du pancréas, œsophage, colon, re	2		7	Cancer du pancréas, œsophage, colon, re	2		7
21	Abcés anal	3		5	Abcés anal	3		5
22	Anémie en carence de fer	1		3	Anémie en carence de fer	1		3

Figure d'annexe VI-8. Affectation des patients aux zones

Commentaire pour les soignants : *le lundi matin, le lit n°5 est occupé par un patient appartenant au parcours « Abcès anal » qui correspond à une Durée Moyenne de Séjour ([DMS]) de 5 jours (préconisation nationale de référence). Ce patient en est à son deuxième jour de séjour ([Jour Séjour]) et sa durée réelle de séjour sera de 4 jours (donnée laissée au choix des utilisateurs). On retrouve donc naturellement ce même patient dans le lit n°5, le lundi après-midi (partie droite du tableau).*

Prise en compte des déplacements

Cette dernière partie donne la matrice des distances de l'unité de soins considérée et permet de paramétrer la vitesse de déplacement des ressources humaines (Figure d'annexe VI-9).

L'utilisateur a également le choix ou non d'utiliser la matrice de déplacement dans le modèle de simulation (son utilisation ralentit la vitesse d'exécution du modèle mais permet d'avoir des résultats plus proches de la réalité en cas de longues distances à parcourir).

Matrice des distances (en mètres)

Menu

Vitesse moyenne considérée : 6 *km/h* => *100* mètres/minute

☐ **Routage : utiliser la matrice de déplacement.**

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Lit	1		7,5	24	26	27,5	31	34,5	38	41,5	45	48,5	50	52	55,5	57,5	54,5	54,5	56,5	53	49,5	46	42,5
Lit	2	7,5		22,5	24,5	26	29,5	33	36,5	40	43,5	47	48,5	50,5	54	56	53	53	55	51,5	48	44,5	41
Lit	3	24	22,5		2	9,5	13	16,5	20	23,5	27	30,5	32	34	37,5	39,5	36,5	36	38,5	42	45,5	43	39,5
Lit	4	26	24,5	2		11,5	15	18,5	22	25,5	29	32,5	34	36	39,5	41,5	38,5	38	40,5	44	47,5	45	41,5
Lit	5	27,5	26	9,5	11,5		9,5	13	16,5	20	23,5	27	28,5	30,5	34	36	33	32,5	35	38,5	42	45,5	43
Lit	6	31	29,5	13	15	9,5		9,5	13	16,5	20	23,5	25	27	30,5	32,5	29,5	29	31,5	35	38,5	42	45,5
Lit	7	34,5	33	16,5	18,5	13	9,5		9,5	13	16,5	20	21,5	23,5	27	29	26	25,5	28	31,5	35	38,5	42
Lit	8	38	36,5	20	22	16,5	13	9,5		9,5	13	16,5	18	20	23,5	25,5	22,5	22	24,5	28	31,5	35	38,5
Lit	9	41,5	40	23,5	25,5	20	16,5	13	9,5		9,5	13	14,5	16,5	20	22	19	18,5	21	24,5	28	31,5	35
Lit	10	45	43,5	27	29	23,5	20	16,5	13	9,5		9,5	11	13	17,5	19,5	16,5	16	18,5	22	25,5	29	32,5
Lit	11	48,5	47	30,5	32,5	27	23,5	20	16,5	13	9,5		7,5	9,5	18	20	17	16,5	19	22,5	26	29,5	33
Lit	12	50	48,5	32	34	28,5	25	21,5	18	14,5	11	7,5		2	19	21	18	17,5	20	23,5	27	30,5	34
Lit	13	52	50,5	34	36	30,5	27	23,5	20	16,5	13	9,5	2		21	23	20	19,5	22	25,5	29	32,5	36
Lit	14	55,5	54	37,5	39,5	34	30,5	27	23,5	20	17,5	18	19	21		2	7,5	11	14,5	18	21,5	25	28,5
Lit	15	57,5	56	39,5	41,5	36	32,5	29	25,5	22	19,5	20	21	23	2		9,5	13	16,5	20	23,5	27	30,5
Lit	16	54,5	53	36,5	38,5	33	29,5	26	22,5	19	16,5	17	18	20	7,5	9,5	[illegible]	9,5	13	16,5	20	23,5	27

Figure d'annexe VI-9. Matrice des distances

Interprétation : entre le lieu n°1 (lit n°1) et le lieu n°12 (lit n°12), il y a 50 mètres. Dans cet exemple, la vitesse moyenne de déplacement a été paramétrée à 6km/h.

B. Résultats obtenus

Nous présentons ici brièvement les différents types de résultats fournis par l'outil d'aide à la décision. La première partie concerne les résultats exploitables avant même de lancer la simulation tandis que dans les parties suivantes les résultats donnés sont ceux obtenus par la simulation.

- **Charge du système et équilibrage de la charge**

Différents résultats peuvent être exploités, une fois l'interface d'entrée entièrement renseignée et avant même de lancer la simulation. C'est le cas notamment concernant la charge du système et la répartition de cette charge. Une première analyse de ces résultats peut permettre de modifier par exemple la répartition des patients afin d'obtenir un meilleur équilibrage entre secteurs, ou encore éventuellement de revoir la répartition des activités par tour patient.

Occupation de l'unité de soins

Une fois l'affectation des patients au lit renseignée par l'utilisateur dans l'interface d'entrée, un aperçu de l'occupation de l'unité de soins est donné (Figure d'annexe VI-10).

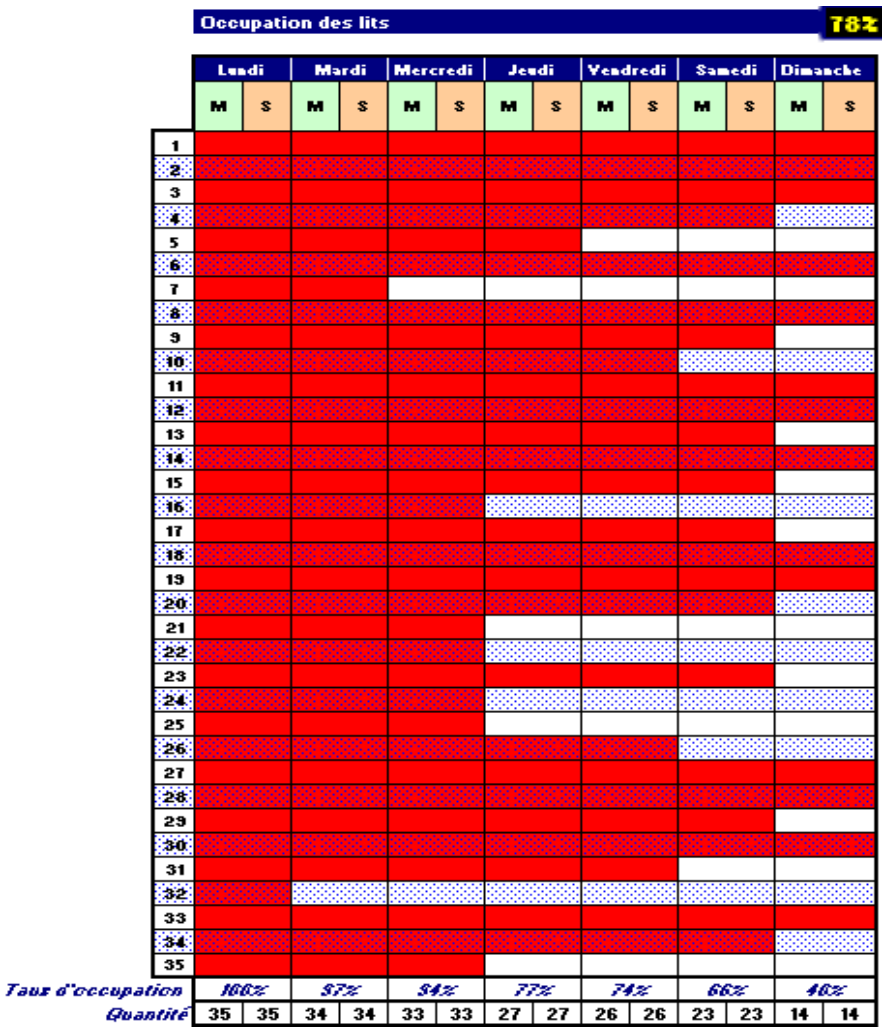


Figure d'annexe VI-10. Occupation de l'unité de soins

Interprétation : *telle qu'elle a été remplie par l'utilisateur, l'unité de soins est occupée à 78% sur la semaine considérée avec des taux d'occupation variant de 46 (Dimanche : 14 lits occupés) à 100% (Lundi : 35 lits occupés) selon le jour considéré.*

Répartition des patients par parcours

Une fois l'affectation des patients au lit renseignée on obtient également la répartition de la charge par parcours patient sur l'ensemble de la semaine (Figure d'annexe VI-11).

Interprétation *: Les patients appartenant au parcours Abcès Anal ont occupé sur la semaine considérée 24 demi-journées d'hospitalisation en représentant ainsi 6% des patients hospitalisés dans l'unité de soins.*

N°	Parcours	DMS	Répartition	
1	Anémie en carence de fer	3	32	8%
2	Abcés anal	5	24	6%
3	Angiocholite et lithiase de la voie biliaire principale et	12	70	18%
4	Bilan pré-transplantation du foie	7	86	22%
5	Cancer du colon et cancer du sigmoïde:avt staff	12	56	15%
6	Cancer du pancréas	15	14	4%
7	Cancer du pancréas, œsophage, colon, rectum	7	28	7%
8	Cancer du rectum:avt staff	7	20	5%
9	Cancer œsophage et adénocarcinome	7	26	7%
10	Cancer primitif du foie	12	28	7%
11				

Figure d'annexe VI-11. Répartition de la charge par parcours patient

Équilibrage de la charge entre les tours patients et les secteurs

Avant de lancer la simulation et en tenant compte de l'ensemble des paramétrages saisis (charge du système, activités programmées…) l'outil fournit, pour chaque jour de la semaine, une approximation du temps global que devrait durer chaque tour patient dans chaque secteur pour pouvoir le comparer avec l'amplitude initialement prévue par l'utilisateur lors de la définition des activités programmées (Figure d'annexe VI-12).

Aperçu de la durée approximative des tours patients par secteur, avant le lancement de la simulation << RETOUR SUITE >>

Lundi

	Sect 1	Sect 2	Sect 3	Sect 4	Amplitude prévue
TP1	170	140	90	90	105
TP2	140	100	30	27	180
TP3	75	75	75	67	135
TP4	250	250	223		195
TP5	120	120	115		120
TP6	120	120	115		120
TP7	60	60	55		90
Nbre de lits - Découpage 1 (4 sect)	9	9	9	8	35
%	26%	26%	26%	23%	100%
Nbre de lits - Découpage 2 (3 sect)	12	12	11		35
%	34%	34%	31%		100%

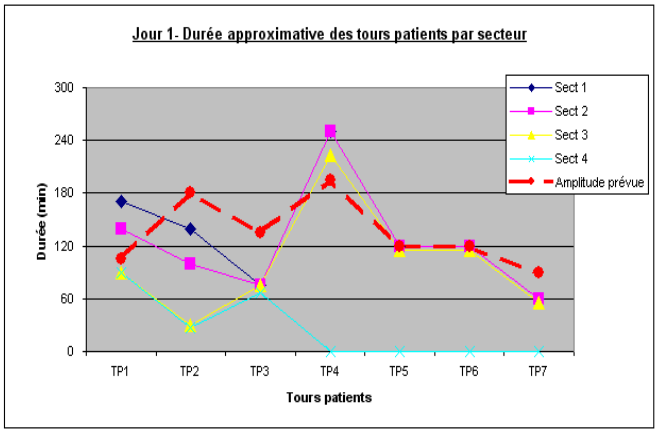


Figure d'annexe VI-12. Répartition de la charge entre tours patients et selon les secteurs

Interprétation : *au vu de l'ensemble des données saisies, le tour patient n°4 (TP4) du lundi aura une durée approximative de 250 minutes pour les secteurs 1 et 2 et de 233 minutes pour le secteur 3, alors que l'amplitude horaire prévue par l'utilisateur n'est que de 195 minutes. Toutes les activités de ce tour patient ne pourront donc probablement pas être réalisées dans le temps imparti. On remarque que l'occupation des lits est convenablement répartie entre les secteurs (12 ou 11 lits occupés par secteurs pour le découpage en 3 secteurs). On remarque également que les tours patients 1 à 3 se font sur le découpage de l'unité de soins en 4 secteurs (découpage de jour), alors que les tours patients 4 à 7 se font sur un découpage de l'unité de soins en 3 secteurs (découpage de nuit).*

Un autre graphique permet d'obtenir le nombre d'activités à réaliser par jour et par lieu (Figure d'annexe VI-13).

Interprétation *: Dans cet exemple, 18 % des activités sont réalisées le lundi contre 8% le dimanche. Le lieu où il se réalise le plus d'activité est le bureau infirmier (lieu n°36) avec 335 activités réalisées dans la semaine et réparties à peu près équitablement entre le lundi et le dimanche.*

Nombre d'activitées générées par jour et par lieu, avant le lancement de la simulation

<< RETOUR SUITE>> Menu

	Lieu	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6	Jour 7	
Lits	1	34	32	32	32	32	32	32	226
	2	37	34	34	34	34	34	34	241
	3	32	32	32	32	32	32	32	224
	4	32	39	39	39	39	39		227
	5	37	32	32	32				133
	6	35	32	32	32	32	32	32	227
	7	35	32						67
	8	32	36	36	36	36	36	36	248
	9	37	32	32	32	32	32		197
	10	35	32	32	32	32			163
	11	35	35	35	35	35	35	35	245
	12	39	32	32	32	32	32	32	231
	13	32	39	39	39	39	39		227
	14	34	32	32	32	32	32	32	226
	15	32	39	39	39	39	39		227
	16	37	32	32					101
	17	32	39	39	39	39	39		227
	18	36	34	34	34	34	34	34	240
	19	34	32	32	32	32	32	32	226
	20	32	34	34	34	34	34		202
	21	32	32	32					96
	22	38	32	32					102
	23	32	34	34	34	34	34		202
	24	37	32	32					101
	25	37	32	32					101
	26	35	32	32	32	32			163
	27	32	36	36	36	36	36	36	248
	28	35	32	32	32	32	32	32	227
	29	32	39	39	39	39	39		227
	30	34	37	37	37	37	37	37	256
	31	35	37	37	37	37			183
	32	32							32
	33	32	32	32	32	32	32	32	224
	34	32	39	39	39	39	39		227
	35	37	32	32					101
Bureau Infirmier	36	49	49	49	47	47	47	47	335
Salle de preparation	37								0
Salle de soins	38	17	17	17	15	15	15	15	111
Salle de repos	39	1	1	1	1	1	1	1	7
Office alimentaire	40	9	9	9	9	9	9	9	63
Salle de decontamination	41	3	3	3	3	3	3	3	21
Local dechets	42	3	3	3	3	3	3	3	21
Local menage	43	6	6	6	5	5	5	5	38
Salon d'accueil	44								0
Salle de jeux	45								0
Permanence medicale	46	1	1	1	1	1	1	1	7
Bureau cadre	47	1	1	1	1	1	1	1	7
Local Linge propre	48	5	5	5	5	5	5	5	35
Locaux divers	49	1	1	1	1	1	1	1	7
		1307	1255	1223	1026	994	893	559	7247
		18%	17%	17%	14%	14%	12	8%	100%

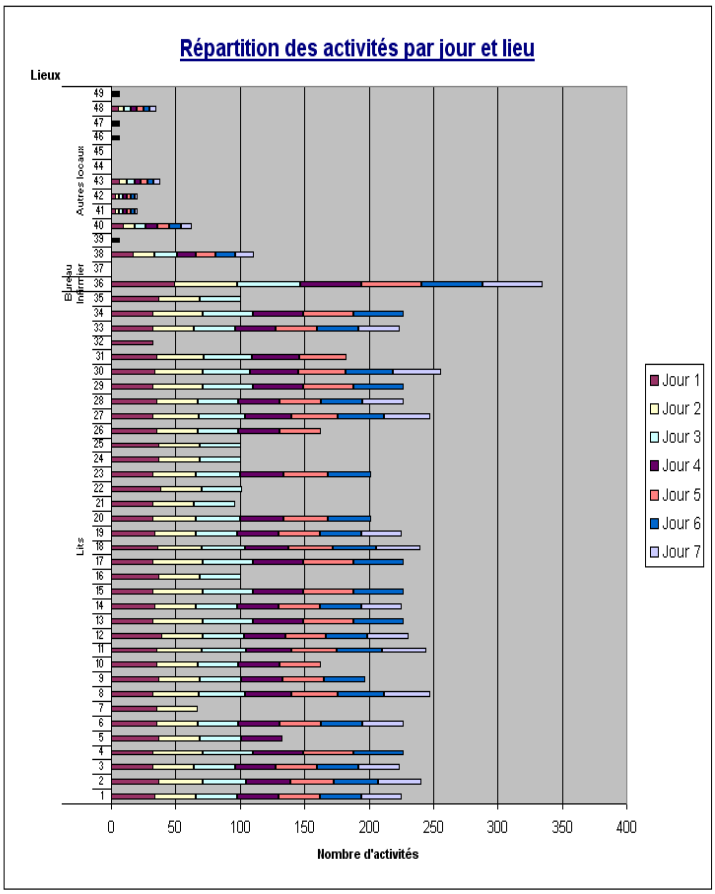


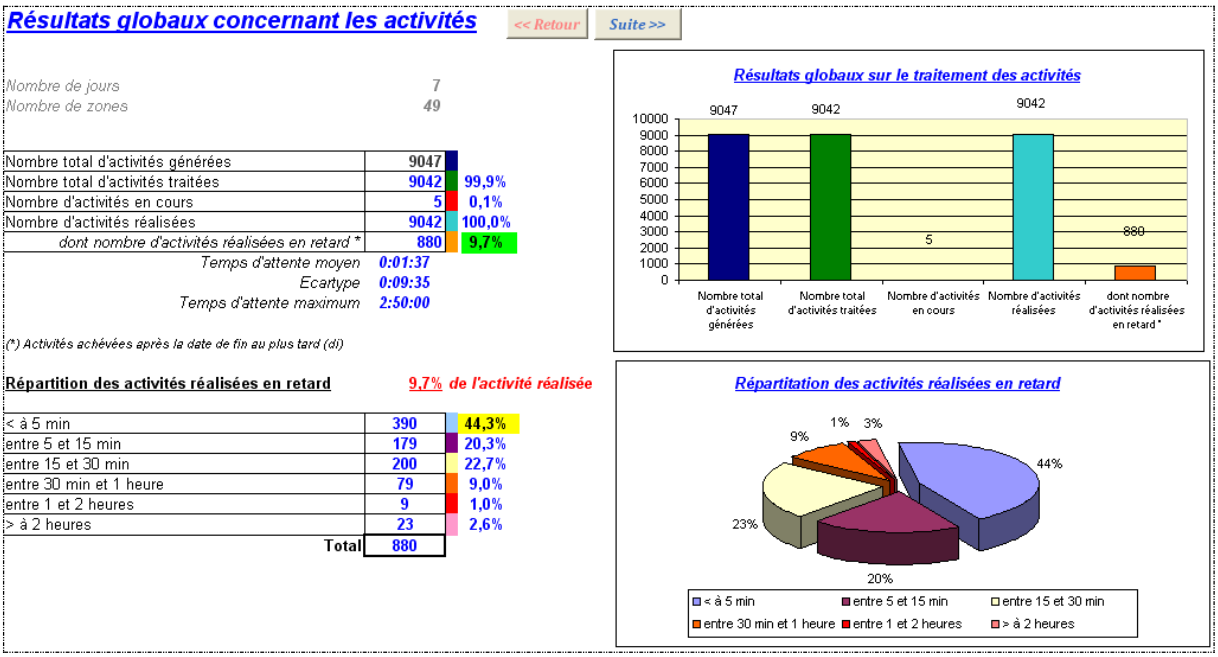
Figure d'annexe VI-13. Répartition de la charge par jour et par lieu

- ## Résultats sur les activités

Résultats globaux sur les activités

L'importation des résultats obtenus par la simulation permet d'obtenir dans un premier temps des résultats globaux sur la réalisation des activités (Figure d'annexe VI-14).

Ces premiers indicateurs, côté patient, représentent des indicateurs de qualité de prise en charge. Ils permettent également d'identifier les éventuels goulots d'étranglement du système.



Résultats globaux concernant les activités

<< Retour | Suite >>

Nombre de jours	7
Nombre de zones	49

Nombre total d'activités générées	9047	
Nombre total d'activités traitées	9042	99,9%
Nombre d'activités en cours	5	0,1%
Nombre d'activités réalisées	9042	100,0%
dont nombre d'activités réalisées en retard *	880	9,7%
Temps d'attente moyen	0:01:37	
Ecartype	0:09:35	
Temps d'attente maximum	2:50:00	

(*) Activités achévées après la date de fin au plus tard (di)

Répartition des activités réalisées en retard 9,7% de l'activité réalisée

< à 5 min	390	44,3%
entre 5 et 15 min	179	20,3%
entre 15 et 30 min	200	22,7%
entre 30 min et 1 heure	79	9,0%
entre 1 et 2 heures	9	1,0%
> à 2 heures	23	2,6%
Total	880	

Figure d'annexe VI-14. Résultats globaux concernant les activités

Interprétation : *dans notre exemple, 9,7 % des activités ont été réalisées en retard, soit 880 activités sur 9042 réalisées. Sur ces 880 activités en retard, 44,3% représentent des retards de moins de 5 minutes.*

Résultats détaillés sur les activités

L'outil d'aide à la décision permet d'obtenir un niveau plus fin d'analyse en donnant des résultats détaillés par lieu concernant le nombre d'activités traitées, le nombre de retards, d'activités en cours… (Figure d'annexe VI-15). La trace du modèle de simulation est également disponible, elle permet au niveau de détail le plus fin d'avoir, pour chaque traitement élémentaire (activité), la date de début, la date de fin, un éventuel retard ainsi que les ressources ayant réalisé cette opération.

Interprétation : *l'analyse détaillée fait apparaître que pour le Jour 7 (dimanche), 99,4% des activités à réaliser ont été traitées puisque 3 activités sont encore en cours de traitement à la fin de la simulation (dimanche à minuit). Parmi ces activités réalisées, 4 activités ont été réalisées en retard pour un temps de retard cumulé de 30 minutes.*

Pour les activités réalisées dans le bureau infirmier, 42 activités ont été réalisées sur les 44 prévues, 2 activités sont encore en cours de réalisation et une activité a été réalisée en retard, soit 2 % de l'activité réalisée sur ce lieu.

		Jour 7								
Lieux	N° de Zone	Nombre d'activités générées (1)	Nombre d'activités traitées (2)	Act. traitées/ act. générées (2)/(1)	Nombre d'activités non réalisées (3)	Act. non réalisées/ act. traitées (3)/(2)	Nbre d'act. terminées après la date de fin au + tard (di) (4)	Act. terminées après di/ act. traitées (4)/(2)	Cumul des temps de retard sur di	Liste des activitées en cours (identifiant) : 3
Lits	1	27	27	100%						6260
	2	29	29	100%						6261
	3	27	27	100%						6263
	4									
	5									
	6	27	27	100%						
	7									
	8	31	31	100%						
	9									
	10									
	11	30	30	100%						
	12	27	27	100%						
	13									
	14	27	27	100%						
	15									
	16									
	17									
	18	29	29	100%						
	19	27	27	100%						
	20									
	21									
	22									
	23									
	24									
	25									
	26									
	27	31	31	100%						
	28	27	27	100%						
	29									
	30	32	32	100%						
	31									
	32									
	33	27	27	100%						
	34									
	35									
Bureau Infirmier	36	44	42	95%			1	2%	0:15	
Salle de preparation	37									
Salle de soins	38	15	14	93%			3	21%	0:15	
Salle de repos	39	1	1	100%						
Permanence médicale	46	1	[illegible]	100%						
Bureau cadre	47	1	1	100%						
Local Linge propre	48	5	5	100%						
Locaux divers	49	1	1	100%						
		486	483	99,4%			4	0,8%	0:30	

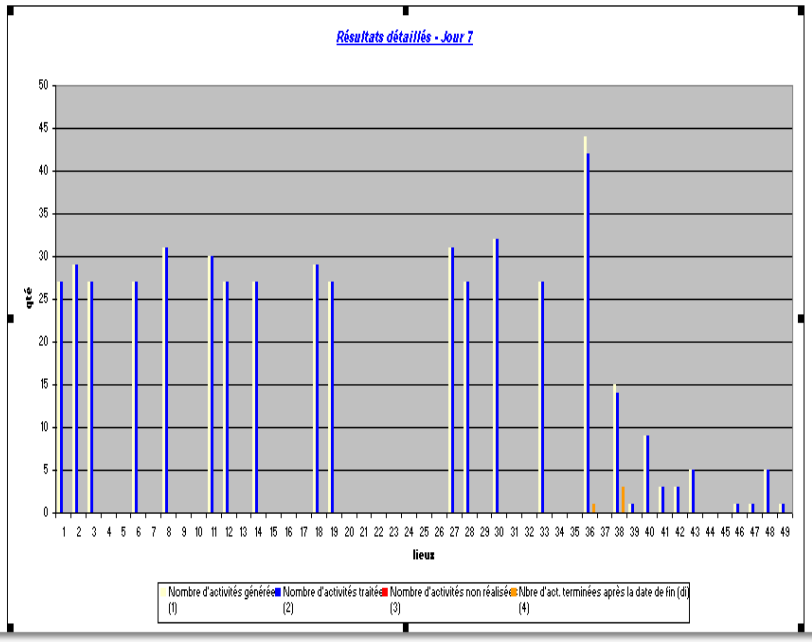


Figure d'annexe VI-15. Résultats détaillés concernant les activités

- **Occupation des ressources humaines**

De nombreux résultats sont exploitables concernant les ressources humaines tels que :

- taux d'occupation global des ressources par type de ressource ;
- taux d'occupation global et détaillé des ressources par planning ;
- taux d'occupation global et détaillé des ressources par secteur…

Ces résultats peuvent être obtenus par jour ou pour l'ensemble de la période simulée (Figure d'annexe VI-16).

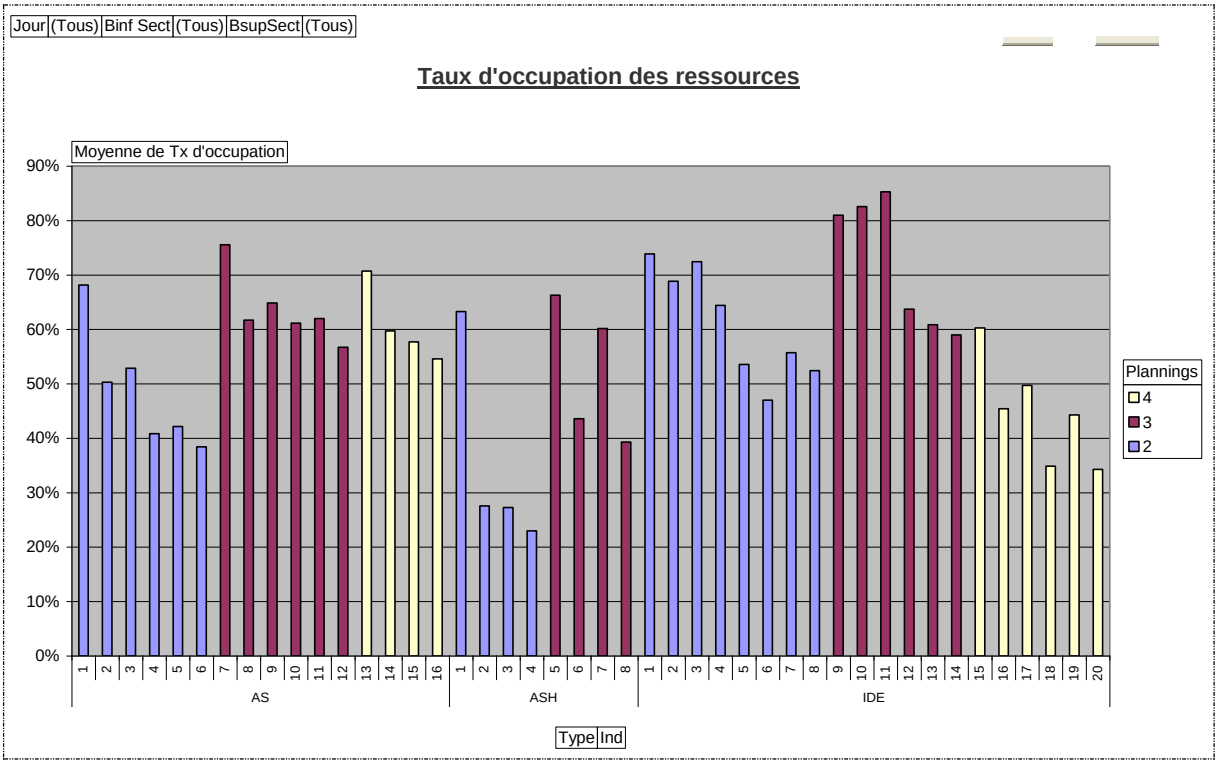


Figure d'annexe VI-16. Taux d'occupation des ressources

C. Synthèse générale

La dernière partie du rapport à destination des équipes hospitalières permet de donner une synthèse du paramétrage de l'outil et des résultats obtenus (Tableau d'annexe VI-1).

Paramétrage de l'outil : **données en entrée à renseigner**	**Résultats obtenus :** **données en sortie à analyser**
Données à renseigner lors de la première utilisation : *(Ces données peuvent néanmoins être ultérieurement modifiées si l'on souhaite revoir les activités du service ou d'un groupe de patients. Par exemple : création/suppression d'une activité, changement des ressources affectées à une activité…)* ***Fonctions des acteurs*** : emploi du temps journalier des activités programmées réalisées sur la semaine dans l'unité de soins quels que soient les patients présents (tour patient, repas, …). ***Parcours patient*** **:** activités spécifiques à chaque « groupe » de patients (patients regroupés par exemple par pathologie et/ou lourdeur). ***Matrice de distances*** : distances entre les lieux de l'unité de soins *(si l'on souhaite prendre en compte les déplacements)*. **Données à faire varier pour pouvoir tester différents scenarii d'organisation :** ***Activités aléatoires*** : activités non programmées (sonnettes…) ***Gestion des ressources humaines*** : définition des plannings horaires, des secteurs et affectation des ressources aux plannings et secteurs. ***Charge du système*** : nombre et caractéristiques (parcours, jour de séjour) des patients hospitalisés dans l'unité de soins.	**Charge du système et équilibrage de la charge :** ***Occupation de l'unité de soins*** : taux d'occupation des lits par jour et pour la semaine. ***Répartition des patients par parcours*** : proportion de chaque parcours (pathologie, lourdeur…) dans l'unité de soins. ***Équilibrage de la charge entre les tours patients et les secteurs*** : durée prévisionnelle approximative des tours patients par jour et par secteur. **Résultats sur les activités :** ***Résultats globaux*** : nombre d'activités réalisées sur la période simulée, nombre d'activités en cours, nombre de retards (temps d'attente pour le patient), retards moyen et maximum, répartition des retards par tranches horaires. ***Résultats détaillés*** : principaux résultats globaux détaillés par jour de la semaine, par lieu, et par activité (trace de la simulation). **Occupation des ressources humaines :** ***Taux d'occupation des ressources*** : par type de ressource, par planning par secteur…par jour, pour la période simulée.

Tableau d'annexe VI-1. Synthèse générale du paramétrage de l'outil et des résultats obtenus

Titre Unetentative d'unification et de résolution des problèmes de modélisation et d'optimisation dans les systèmes hospitaliers. Application au Nouvel Hôpital Estaing.

Résumé L'objectif de cette thèse est d'étudier les problèmes de simulation et d'aide à la décision pour la gestion et le pilotage des systèmes hospitaliers (plateaux médico-techniques, unités de soins, services d'urgence…). Cette problématique est très importante et fait l'objet depuis quelques années de travaux de recherche dans des laboratoires. A l'heure actuelle, les approches proposées sont des approches prédictives et s'inspirent des méthodes mises en œuvre dans les systèmes industriels. Il apparaît indispensable de proposer des approches réactives permettant un suivi quasiment en temps réel des systèmes.

Le sujet proposé concerne la modélisation des différents types de flux (patients, personnels, matériels, …) et de leurs interactions et l'évaluation d'indicateurs de performance à définir. Il s'agit donc d'étudier la classe (le domaine) des systèmes hospitaliers et de proposer une méthodologie de simulation et d'aide à la décision pour la gestion et le pilotage.

Cette problématique est étudiée dans le cadre du projet NHE (Nouvel Hôpital Estaing) à Clermont-Ferrand et s'intéresse plus particulièrement à la conception de modèles génériques des différentes classes de systèmes, à la définition d'indicateurs de performance et à la conception et mise en œuvre d'outils d'aide à la décision pour les managers hospitaliers (directeur, chef de service, médecin, cadre de santé…).

Mots-clés modélisation, simulation, optimisation, systèmes hospitaliers, méthodologie de modélisation, ASCI, outils d'aide à la décision

---

Title An attempt to unify and solve the questions of modeling and optimization within the hospital systems. Application to the New Estaing Hospital.

Summary The objective of this thesis is to study simulation and decision-making tools for the management and the supervision of the hospital systems (technical support center, care units, emergency departments…). These questions remain crucial and have been the object of research studies in laboratories for a few years now. Today, predictive methods are commonly used as inspired by the practice of industrial systems. Therefore, reactive methods appear essential to allow for a real-time follow-up of the systems.

The subject of this research is an attempt to create models of the various types of flow (patient, staff, equipment…), and their interactions, together with the definition and evaluation of related performance indicators. The purpose is to study the hospital systems class and to suggest a methodology of simulation and decision-making aid for management and supervision.

These questions are studied within the framework of the NHE project (New Estaing Hospital) in the city of Clermont-Ferrand. The main concern focuses on the design of generic models of the various classes of systems, but also on the definition of performance indicators and the design and implementation of decision-making tools for hospital managers (Directors, department heads, doctors, health executives…).

Keywords modeling, simulation, optimization, hospital systems, modeling methodology, ASCI, decision-making aid tools